

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЛЕСЬЯ

Книга 2. МЕЛИОРАЦИЯ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Том 1

Под общей научной редакцией

доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ю. А. Мажайского,
доктора технических наук, профессора А. Н. Рокочинского,
доктора географических наук, профессора А. А. Волчека,
кандидата технических наук, доцента О. П. Мешика
... – ... (Польша)

БЕЛАРУСЬ – УКРАИНА – РОССИЯ – ПОЛЬША – 2017

УДК 631.62(438.42)
ББК 40.6
М47

Под общей научной редакцией:

Ю. А. Мажайского, доктора сельскохозяйственных наук, профессора (Россия);
А. Н. Рокочинского, доктора технических наук, профессора (Украина);
А. А. Волчека – доктора географических наук, профессора (Беларусь);
О. П. Мешика, кандидата технических наук, доцента (Беларусь);
... – ... (Польша).

Составители:

кандидат технических наук *Р. Н. Коптюк*,
кандидат сельскохозяйственных наук *Л. А. Волкова*,
кандидат технических наук *Н. В. Приходько*

Рецензенты:

М47 **Мелиорация Полесья** : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О. П. Мешика, ... (Польша). – Рязань ; Город Украина ; гор. Беларусь, 2017. – Кн. 2 : Мелиорация Украинского Полесья. – Т. 1. – 902 с.

ISBN

Монография подготовлена на основе обобщения результатов многолетних исследований и производственного опыта ведущих ученых и специалистов водохозяйственно-мелиоративного профиля о природных, исторических, социально-экономических, конструктивных, режимно-технологических, экологических, экономических и других аспектов мелиорации и обустройства зоны Полесья Украины, Беларуси и ...?

Том 1 книга 2 посвящен вопросам общей характеристики и предусловиям необходимости мелиорации Украинского Полесья, как главного условия развития региона, техническим и режимно-технологическим аспектам реализации мелиорации в регионе Украинского Полесья.

Для специалистов в области почвоведения, охраны природы, водного хозяйства, аграрного производства, научных работников, аспирантов и студентов соответствующих специальностей, землепользователей всех форм собственности.

Ответственность за содержание и достоверность представленных материалов несут авторы.

УДК 631.62(438.42)
ББК 40.6

© Авторы разделов, указанные в оглавлении тома 1
книги 2 монографии, 2017

ISBN

ПРЕДИСЛОВИЕ

Украинское Полесье как соответствующее государственное, природно-географическое, ландшафтное и социально-экономическое образование является, по сути, преобладающей составной частью общего европейского Полесья и относительно других его аналогичных образований, касающихся Белорусского Полесья, Российского Полесья и Польского Полесья, занимает территорию около 113 тыс. км², или 62 % от общей его территории, оцениваемой примерно в 180 тыс. км².

Имея весьма схожие условия для Полесья в целом, Украинское Полесье в то же время отличается рядом характерных особенностей как относительно природно-географических, так и социально-экономических условий его развития. При этом, пожалуй, последние 50 лет этого развития, определяют суть его настоящего состояния, а также развития его в дальнейшем как на ближайшую, так и более отдаленную перспективу во всех возможных аспектах его проявления.

Посвященная этому вопросу коллективная научная монография «Мелиорация Полесья. Книга 2. Украинское Полесье» издается в 2 томах и состоит из пяти частей, представленных 67 разделами. Изложение содержания разделов сформировано по авторскому принципу. Они имеют абсолютно независимый друг от друга характер, но как структура частей монографии, так и включенные в них разделы подчинены одной генеральной идее – системному рассмотрению всех основных аспектов мелиорации и обустройства Украинского Полесья в их логической последовательности и взаимосвязи.

В первой части «ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРЕДПОСЫЛКИ К МЕЛИОРАЦИИ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ» первого тома дан анализ результатов многолетних исследований от прошлого, или от начала интенсивных первых исследований по вопросам мелиорации в зоне избыточного увлажнения, к современности, что уже связано с изменением климата, углублением проблемы деградации почв, ухудшением водного баланса в Украине и мире, экологии окружающей среды вообще и в зоне Полесья в частности, показаны особенности климатических и погодных условий Украинского Полесья, состояние и задачи исследований торфо-болотных угодий и органогенных почв: экологические, энергетические и практические аспекты их использования, сохранения и восстановления, гидрогеологические условия, гидрологический режим и сток рек, предпосылки мелиорации переувлажненных земель, обоснование необходимости реализации водохозяйственно-мелиоративных проектов в зоне Полесья.

Во второй части 1-го тома «ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕЛИОРАЦИИ» авторами освещены технологические и технические аспекты водорегулирования на осушаемых землях Полесья Украины: традиционные и современные оптимизационные методы обоснования параметров дренажа и других конструктивных элементов осушительных систем; элементов технологии осушения и подпочвенного увлажнения с учетом влияния конструкции и параметров закрытого дренажа; теоретические аспекты оптимизации водорегулирования осушаемых земель на эколого-экономических основах, в том числе с учетом развитого рельефа местности; средства и эффективность глубокого рыхления осушаемых минеральных почв; пути улучшения радиоактивно загрязненных торфяных почв; методы и средства автоматизации водорегулирования и управления осушительно-увлажняющими системами; восстановление мелиоративных систем с использованием капельного орошения; тепловые мелиорации с использованием сбросных теплых вод энергетических и промышленных объектов; защита от загрязнения территорий и водных объектов в зоне складирования твердых бытовых отходов; средства механизации по проведению мелиоративных работ.

Итак, если в первой и второй частях 1-го тома украинской составляющей монографии подробно рассмотрены вопросы, касающиеся общей характеристики и объективных предпосылок к мелиорации Украинского Полесья как необходимого условия его развития, а также режимно-технологические и конструктивно-технические аспекты реализации сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций в данном регионе, то третья, четвертая и пятая части ее 2-го тома посвящены, главным образом, режимным, технологическим, гидрологическим и экологическим аспектам влияния мелиорации на почвы и их продуктивность, водный и гидрологический режимы рек и т. п., обустройству региона и использованию его природно-ресурсного потенциала, общей оценке их экономической и экологической эффективности в такой чрезвычайно специфической природно-географической зоне, которой является Полесье вообще.

Считаем, что ознакомление с материалами, изложенными в данном издании, будет способствовать углублению мелиоративных и экологических знаний, станет чрезвычайно полезным для специалистов в родственных областях науки и производства в водном хозяйстве, охране природы, аграрном секторе, научных работников, аспирантов и студентов соответствующих специальностей, земледельцев всех форм собственности, а также послужит повышению эффективности производства, высокопроизводительного и природоохранного использования мелиорированных земель и агроэкономического потенциала Полесья Украины в целом.

Редакционная группа

Часть 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРЕДПОСЫЛКИ МЕЛИОРАЦИИ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Глава 1. ПОЛЕСЬЕ КАК ОНО ЕСТЬ: ОТ ПРОШЛОГО К НАСТОЯЩЕМУ

1.1. Географическое положение и происхождение Полесья

Полесьем называют физико-географическую область, которая расположена на территории Полесской низменности. Что касается места расположения и распространения зоны Полесья, то разные источники и авторы до сегодняшнего дня не имеют по этому поводу единого мнения. Согласно последним исследованиям [19] «...Полесье (Полесская, Деснянская низменности) в бассейнах Припяти, среднего Днепра, Десны имеет площадь около 300 км², где 1/3 часть занята лесами (в основном сосновыми). Регион находится в юго-западной части Восточно-Европейской равнины с основными бассейнами рек: Западный Буг (бассейн Балтики), Припять, Днепр, Десна (Черноморский бассейн), Жиздра (Каспийский бассейн). Выделяют Люблинское (Польша), Белорусское (Беларусь), Украинское (Украина), Брянско-Жиздринское, Орловско-Калужское (Россия) Полесья. В пределах белорусской части – Брестское, Припятское, Загородье, Мозырское и Гомельское Полесье. В Украине – Волынское, Житомирское, Киевское, Черниговское, Новгород-Северское... » (рис. 1.1).

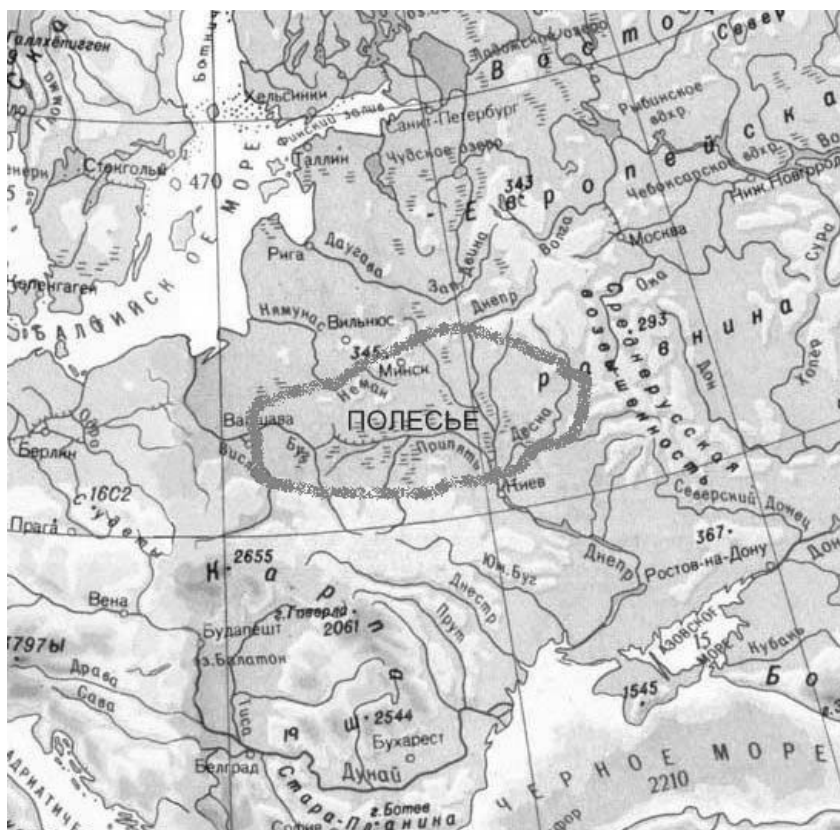


Рис. 1.1. Физико-географическое положение Полесья [https://uk.wikipedia.org/wiki/Полісся]

Полесская низменность – своеобразная природная провинция зоны смешанных лесов Восточно-Европейской равнины – подразделяется на три больших региона (подпровинции), отличающиеся своеобразными географическими условиями: северную (левобережье Припяти, полностью расположенную на территории Беларуси), южную (правобережье Припяти и Днепра, преимущественно находится в пределах современной Украины) и восточную (левобережье Днепра, северная часть которой находится на территории Беларуси и Российской Федерации, а южная – Украины).

Среди исследователей нет единого мнения по поводу происхождения топонима Полесье. Большинство придерживается мнения о том, что в основе термина лежит корень «-лес-». Следовательно, Полесье – территория по лесу, граничащая с лесом [1–4]. Существует и альтернативная точка зрения, согласно которой топоним происходит от балтского корня *pol-* / *pal-*, обозначающего болотную местность [5]. По мнению некоторых ученых [6], Полесьем могли называть местность, где лесные участки чередуются с открытыми болотными массивами.

Полесье (белор. *Палессе*, рус. *Полесье*, польск. *Polesie*) является своеобразным ландшафтным регионом Восточноевропейской физико-географической страны: на севере оно ограничено холмистыми равнинами центральной части Беларуси, на востоке – Приднепровской низменностью, на юге – Приднепровской и Волынской возвышенностями, на западе – Прибугской равниной.

Возникновение Полесья главным образом обусловлено палеогеографическими условиями антропогенного периода. Это плоская равнина, сложенная речными, озерными и ледниковыми отложениями, с отдельными возвышенностями (Овручская, до 316 м), местами есть древние дюны, умеренно континентальный климат, значительная обводненность, густая речная сеть с широкими поймами, преобладание разновидностей дерново-подзолистых и болотных почв, занятых хвойно-широколиственными лесами, которые занимают до 30 % площади, лугами, болотами и переувлажненными землями. Природные комплексы, не занимая больших площадей, часто сменяют друг друга, что является характерной особенностью этого региона.

1.2. Специфика образования и существования Полесья

Полесье – это физико-географическая провинция зоны смешанных лесов со своеобразными особенностями природы: преобладание низинного рельефа, широкое распространение песчаных отложений, большое количество болот, наличие большого количества рек с низкими берегами, присутствие выходов на поверхность различных каменных пород и наличие флювиогляциальных отложений [7].

Почвенный покров преимущественно представлен дерново-подзолистыми почвами, на которых растут сосновые и смешанные леса, расположены луга, болота и сельскохозяйственные угодья. Характерной особенностью этого региона является то, что природные комплексы, не занимая больших площадей, часто сменяют друг друга.

Полесье почти со всех сторон окружено возвышенностями. В целом оно представляет собой довольно значительное снижение рельефа Русской равнины. По физико-географическим условиям в настоящее время Полесскую провинцию разделяют на четыре подпровинции: Северную, Восточную, Южную и Западную [7].

Северная подпровинция – Белорусское Полесье – расположена на левобережье Припяти и правобережье Днепра. Северная подпровинция отличается значительно большей мощностью антропогенных отложений (до 100 м), наличием крупных болотных массивов, значительными площадями лесов, а также климатическими условиями.

Северная подпровинция простирается с запада на восток вдоль р. Припять более чем на 500 км, а с севера на юг – примерно на 200 км. На западе Белорусское Полесье постепенно переходит в Прибугской равнину, на востоке – в Приднепровскую низменность, на севере – в холмисто-равнинную часть Белоруссии, на юге – в Украинское Полесье.

Основные формы рельефа на этой территории образовались в результате деятельности Днепровского ледника и особенно влияния его талых вод, которые вытекали из-под ледника.

Большую роль в формировании рельефа Белорусского Полесья сыграли накопительная деятельность вод Припяти и ее главных притоков, а также процессы заболачивания пониженных участков рельефа.

В рамках Белорусского Полесья преобладают абсолютные высоты 130–150 м над уровнем моря. Водоразделы рек плоские и заболоченные. В наиболее пониженной части Белорусского Полесья (с почти плоским рельефом) находятся крупнейшие болотные массивы.

Основные реки Белорусского Полесья: Припять и ее притоки, Днепр с реками Березиной и Сожем, Западный Буг с рекой Мухавец. Малые уклоны русел этих рек и их широкие поймы образуют благоприятные условия для накопления речной воды в период наводнений и летних ливневых паводков. Поэтому в этой части Полесья рядом с крупными озерами много небольших озер, а также стариц в поймах этих рек.

Климат Белорусского Полесья теплый, неустойчиво-влажный, на юго-востоке переходящий в лесостепной.

Восточная подпровинция – Восточное Полесье – занимает Левобережье Днепра в пределах Беларуси, России и Украины. По сравнению с Северной и Южной подпровинциями эта территория

отличается более континентальным климатом и меньшей заболоченностью. Для нее характерно также наличие островов лессовидных суглинков.

Река Днепр образует здесь четкую природную западную границу Восточного Полесья.

Западная часть Восточного Полесья, известная как область Черниговского Полесья, расположена в пределах Днепровско-Донецкой впадины.

Крайняя восточная часть Восточного Полесья – Неруссо-Деснянский физико-географический район – находится в бассейне среднего течения р. Десны и охватывает территорию между Десной и ее левыми притоками – реками Нерусса и Навля, а также левобережную долину реки Нерусса. На востоке территория района ограничена отрогами Среднерусской возвышенности.

Восточное Полесье имеет разветвленную гидрологическую сеть. Река Днепр принимает здесь реки Сож и Десну, а также их маленькие левобережные притоки. По сравнению с другими полесскими регионами реки Восточного Полесья отличаются меньшей продолжительностью весеннего половодья.

Южная подпровинция – Южное Украинское Полесье – расположена к югу от реки Припять и западнее Днепра. Ее природа в значительной степени отличается от природы Северной и Восточной подпровинций. Южное Полесье имеет общий наклон своей поверхности к северу и северо-востоку. Здесь находится край Украинского кристаллического массива и Словечанско-Овручского кряжа.

Большинство территории Южного Полесья характеризуется абсолютными отметками высоты над уровнем моря менее 200 м. Максимальные высоты находятся здесь на Словечанско-Овручском кряже, и достигают высот до 320 м.

Речные долины на большей части территории широкие, с низкими пологими берегами. Исключение составляют речные долины Житомирского Полесья, которые врезаются в Украинский кристаллический щит. Долины рек Тетерев, Уж, Жерев, Норин, Словечна имеют крутые берега и незначительную ширину.

В южной части Волынского Полесья есть большие холмистые возвышенности, сложенные меловыми породами. Эту местность описал в свое время П. А. Тутковский, и до настоящего времени она известна под названием «гряда Тутковского». Ее происхождение связано с деятельностью ледников.

На севере Житомирского Полесья резко выделяется Словечанско-Овручский кряж.

На территории Южного Полесья преобладает умеренно-континентальный климат с теплым влажным летом и мягкой облачной зимой.

Западная подпровинция. Непосредственно к Волынскому Полесью, которое входит в состав Южного Полесья и находится на территории Украины, примыкает Любельское (Люблинское) Полесье, которое находится на территории Польши. Его выделяют в Западную подпровинцию.

Граница между Южным и Любельским Полесью проходит по р. Буг. Природным центром этой части Полесья является Полесский национальный парк. Он расположен в средней части Ленчинсько-Влодавского Поозерья – части Любельского Полесья.

Значительную роль в формировании природных условий этого края играют воды. Люблинское Полесье – территория с очень густой сетью водоемов. Большинство озер является эвтрофными, некоторые относят к дистрофным. Озера характеризуются богатой растительностью и фауной.

Полесье находится на территории четырех государств: Польши, России, Беларуси и Украины (рис. 1.2). Общая площадь составляет около 130 тыс. км.

В Польше к Полесью относятся некоторые регионы Люблинского воеводства, а именно долины Буга в районе Воли-Ургуской и Ленчицко-Влодавское поозерье, известные как Люблинское или Западное Полесье [18]. Западная граница Люблинского Полесья проходит по реке Вепш. На южной территории Люблинского воеводства, в восточной части Польши, находится Национальный парк «Полесский» – небольшой природный парк, часть биосферного заповедника польского региона «Западное Полесье». Он был образован в 1990 году. Название парка происходит от исторического региона Полесье, в котором он расположен, а его площадь составляет 47,8 км².

Брянско-Жиздринское Полесье находится на территории Брянской области России в междуречье р. Ресета и р. Витебеть [14–16]. В междуречье рек Ресета и Жиздра сходятся сразу три геоботанических района: дубово-сосново-еловый, елово-сосновый и широколиственный. Чистые сосновые и елово-сосновые леса преобладают в местах, где водно-ледниковые пески достигают большой мощности. На месте сведенных хвойных лесов сформировались березовые леса с примесью осины, встречаются материковые (водораздельные) луга. Пойма р. Ресета низкая, сильно заболочена, с влажными лугами.

Белорусское Полесье занимает южные районы Брестской и Гомельской областей. Общая площадь региона составляет 61 тыс. км² [8], то есть чуть менее 30 % территории Беларуси. Протяжен-

ность территории региона с запада на восток составляет около 500, с севера на юг – около 200 км [9]. В первую очередь, Белорусское Полесье разделяют на Западное и Восточное. Условной границей между Западным и Восточным Полесьем считается р. Ясельда и р. Горынь, а также участок р. Припяти между устьями этих рек [10].



Рис. 1.2. Картограмма Полесья [по 7]

Белорусское Полесье делится на пять физико-географических областей (перечисление с запада на восток): Брестское, Припятское, Загородье, Мозырское и Гомельское [11–13]. Загородье – местность на юге Брестской области, основная часть Брестско-Пинского Полесья. В Белорусское Полесье, кроме бассейна Припяти, входят верхняя часть бассейна р. Щары, р. Мухавец и р. Брагинка [9–13].

В Белорусском Полесье, где рельеф почти плоский, находятся крупнейшие в Европе массивы болот низинного типа: Поддубичи, Великий Лес, Выгонощанское болото, Гричин, Загальский и др.

Эта труднопроходимая местность не раз выступала в роли естественной преграды на пути завоевателей или служила укрытием для местных жителей, скрывавшихся от врагов в селах среди лесов и топай.

Украинское Полесье занимает южную часть Полесской низменности и охватывает почти полностью южную подпровинцию (правобережье Припяти и Днепра) и южную часть восточной подпровинции (левобережье Днепра). Простирается с запада на восток на 750 км, с севера на юг – на 120–150 км. В северо-восточном направлении его территория постепенно сужается до 50–80 км. Площадь составляет более 113 тыс. км² (19 % территории Украины). Преобладающие высоты 150–200 м, максимальная – 316 м (в пределах Словечанско-Овручского кряжа). Поверхность низменности имеет общий уклон к рекам Припять и Днепр. Рельеф преимущественно равнинный и слабоволнистый, выделяются отдельные денудированные моренные гряды и возвышенности днепровского возраста (Словечанско-Овручский, Белокозовичский, Озерянский кряжи). Характерной особенностью является наличие полесских дюн. Водораздел рек плоский, заболоченный. Леса занимают около 33 % территории, в отдельных районах до 60 % [14–16].

Украинское Полесье состоит из двух обособленных Волынской возвышенностью и несколько отличающихся между собой частей: большей – собственно Полесья, что находится на севере (в пределах Полесской низменности) и меньшей – Малого Полесья, которое лежит на юге в бассейнах рек Верхний Буг и Стырь (между Волынской и Подольской возвышенностями).

Украинское Полесье включает в себя северные части Волынской, Ровенской, Житомирской, Киевской, Черниговской и Сумской областей, а также частично территории Львовской, Тернопольской и Хмельницкой областей.

На западе граница Украинского Полесья совпадает с государственной границей Украины с Польшей, на севере – с государственной границей с Беларусью, на северо-востоке на юг в бассейнах Верхнего Буга и Стыри – с государственной границей Российской Федерации. Южная его граница с

Лесостепью проходит через населенные пункты (с запада на восток): Устилуг, Владимир-Волинский, Луцк, Ровно, Шепетовка, Житомир, Киев, Нежин, Батурин, Кролевец, государственная граница Украины с Россией.

В зависимости от расположения относительно Днепра Полесье делится на Правобережное и Левобережное (иногда используются топонимы Западное и Восточное или Припятское и Наддеснянское Полесье).

По особенностям ландшафтов Украинское Полесье разделяют на отдельные части – физико-географические области. На западе лежит Волинское (Западное) Полесье (Волинская и часть Ровенской области); Малое Полесье (Ровенская, Львовская, Тернопольская и Хмельницкая области); дальше на восток – Житомирское (часть Ровенской и Житомирская области), Киевское (Киевская обл.), Черниговское (Черниговская обл.) и Новгород-Северское (Сумская и часть Черниговской области) Полесья. Границы Малого Полесья, расположенного к югу от Волинской возвышенности, четко прослеживаются в рельефе. На севере оно оконтуривается южным уступом Волинской возвышенности, на юге – высокими (130–200 м) отвесными уступами Подольской возвышенности (Гологоры, Вороняки, Кременецкие горы). Западная граница Малого Полесья проходит достаточно стремительными северо-восточными склонами возвышенностей Розточья. На востоке территория Малого Полесья постепенно сужается до нескольких километров и менее; вблизи Бердичева узкая полоса Малого Полесья сливается с основной частью Полесья. Равнинно пониженное Малое Полесье на западе отделяет лесостепную территорию Волинской возвышенности от остальной Лесостепи. В целом Малое Полесье менее заболоченное, чем Волинское Полесье.

По ландшафтным особенностям Украинское Полесье делится на 5 физико-географических областей: Волинское, Житомирское, Киевское, Черниговское и Новгород-Северское Полесье (рис. 1.3).

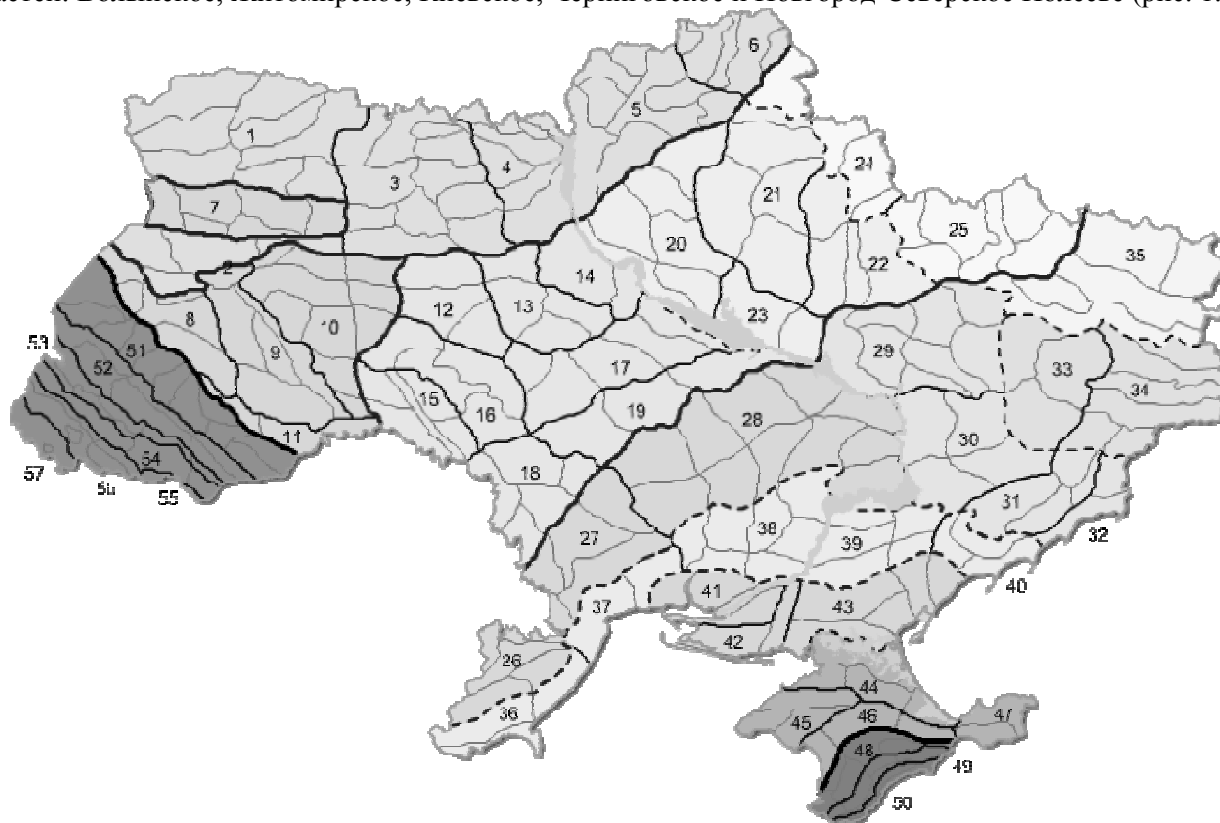


Рис. 1.3. Физико-географическое районирование Украины [<http://geomap.land.kiev.ua/zoning1.html#>]:

- 1) область Волинского Полесья; 2) область Малого Полесья; 3) область Житомирского Полесья; 4) область Киевского Полесья; 5) область Черниговского Полесья; 6) область Новгород-Северского Полесья;
- 7–50 – другие физико-географические области Украины

Геологическая структура территории Полесья (во всех его подпровинциях) является своеобразной. Тектонические условия оказали значительное влияние на формирование современного рельефа Полесья. Геоморфологично пределы Полесья в большинстве своем имеют тектоническую обусловленность: его южная граница в основном соответствует Владимир-Волинскому сбросу тектонических нарушений в пределах Малого Полесья и Житомирской тектонической зоне. Каждый геострукту-

рный район Полесья имеет отличительные черты в строении рельефа. Особенно большое влияние геологическая структура оказывает на общий план речной сети и на геоморфологическое строение речных долин Полесья.

Волинское Полесье. Эта природная область находится между реками Западный Буг на западе и Случь на востоке. В состав Волинского Полесья входит большая часть Волинской и северо-западной части Ровенской области. Восточная граница проходит по обнажениям кристаллических пород Украинского кристаллического щита вблизи городов Корец, Сосновка, Клесов.

Основными физико-географическими особенностями Волинского Полесья, которые отличают его от других полесских областей, является наличие меловых пород, залегающих под четвертичными отложениями, значительное развитие ледниковых форм рельефа (Волинской моренной гряды), наличие карста (озерные котловины, воронки и др.), широкое развитие пойменных ландшафтов, более теплый и влажный климат, чем в других полесских физико-географических областях, значительная распространенность болот и заболоченных земель, большая лесистость, которая достигает 45 % от общей площади области.

В территориальном распределении ландшафтов наблюдается определенная закономерность. На севере области, в верховьях Припяти и на ее притоках, распространены *молодые природно-территориальные комплексы – пойменные лугово-болотные ландшафты*. Ширина поймы Припяти в среднем здесь составляет 3–5, а местами до 10 км. Она имеет 2 уровня: низкий, с высотами 0,5–2,0 м над уровнем воды в русле и высокий – 2–3 м, который отмечается не каждый год. Здесь преобладают луговые урочища с разнотравно-злаковым травостоем. Значительные площади заняты болотами и заболоченными землями, особенно в поймах низкого уровня. Часто встречаются старицы, озера, протоки и густая сеть остатков меандр. На прирусловых урочищах распространены пески, занятые кустарниками, а центральные части пойм покрыты лугами, которые используют под сенокосы. Поймы высокого уровня используются под овоще-огородные культуры, особенно после проведения мелиоративных мероприятий. Здесь действует Верхне-Припятская мелиоративная система.

Следующий ландшафтный уровень образуют местности надпойменных террас и древних долин. На Припяти и ее крупных притоках есть две надпойменные террасы. Первая, боровая, имеет среднюю высоту 5–8 м, а в некоторых местах – 10–12 м. На Припяти она достигает ширины 10–15 км. Здесь значительную роль играют боровые местности с дерново-слабоподзолистыми почвами, занятые сухими борowymi лесами с песчаными валами, грядами и развеевыми песками. Еще большие площади в этом ландшафтном уровне занимают местности слабо дренированных надпойменных террас со слабоподзолистыми супесчаными и дерново-глебовыми почвами. Они заняты пахотными землями, лугами, ольхово-осиновыми лесами и болотами. Особенно это распространено на вторых надпойменных террасах, которые имеют высоту от 12 до 22 м. Их ширина на правобережье Припяти достигает 8–24 км. К этому ландшафтному уровню относятся древние долины и, в частности, большая прадolina Стирь-Словечна, простирающаяся в субширотном направлении от современной долины Стохода в районе с. Голобы через все Южное Полесье. Ее длина более 400 км при ширине 20–25 км. В ее пределах находятся пгт. Колки, с. Старый Чарторыйск, г. Сарны и другие населенные пункты. Здесь распространены ландшафты, подобные ландшафтам других надпойменных террас, но со значительной долей болотных массивов, в частности болот Лютемецкого (между реками Стоход и Стирь), Гало и Лебедь – между реками Горынь и Ствига.

Более высокий ландшафтный уровень связан с моренно-зандровыми равнинами преимущественно с дерново-среднеподзоленными почвами, занятыми субориями, сугрудками и сельскохозяйственными угодьями (зерновые культуры, картофель, лен).

В средней части Волинского Полесья от г. Любомль до г. Дубровица простираются ландшафтные местности, связанные с Волинской моренной грядой. Здесь распространены моренные холмы, валы, сложенные песчаными и супесчаными отложениями с гранитными, кварцевыми и кремневыми валунами, а также межгрядовые понижения и долины.

Близко к дневной поверхности залегают меловые отложения, которые улучшают качество дерново-подзолистых почв и их использование в сельском хозяйстве. Часть из них щебневидные по структуре. В лесах преобладают сосна и дуб, встречается ель. Межгрядовые понижения заняты заболоченными землями.

На юге Волинского Полесья, особенно в междуречье Западный Буг – Турия – Стоход – Стирь, преобладают ландшафтные местности денудационных волнистых равнин с дерново-карбонатными почвами на меловых отложениях и дерново-среднеподзолистыми почвами, которые широко используют для выращивания зерновых и огородных культур и даже сахарной свеклы. Небольшими массивами здесь сохранились дубово-грабовые и дубово-сосновые леса. Близко к поверхности залегают

меловые отложения, их трещиноватость и значительное количество осадков способствовали развитию карстовых процессов, в частности карстовых озер, воронок, карстовых источников-окон.

Из природных богатств Волынского Полесья важнейшие – земельные, водные, лесные, минерально-сырьевые и рекреационные ресурсы. С целью улучшения земель здесь проведены значительные мелиоративные мероприятия. Следует отметить, что не все они достигли желаемых результатов. Реки, озера и подземные воды используются для водоснабжения и с рекреационной целью. Общая площадь лесов Волынского Полесья превышает 2300 тыс. га. На боры приходится около 23 %, субори – 47, сугрудки – более 21, грудки – 3 %. Из полезных ископаемых используется минеральное сырье для строительных материалов – мергель, мел, глины, пески и, особенно, базальты (Ровенская область), а из горючих – торф.

В Волынском Полесье находится значительная часть природоохранных объектов, что тоже подтверждает богатство и многообразие его природной среды. В северо-западной части области, в Любомльском административном районе раскинулся Шацкий природный национальный парк (создан в 1983 г.) общей площадью 32,5 тыс. га. В парке сохраняются природные комплексы района Шацких озер, проводятся научные исследования, поддерживается экологический баланс, ведется пропаганда природоохранных знаний.

На территории парка находится 22 озера, преимущественно карстового и ледникового происхождения. Крупнейшие из них Свитязь, Пулемецкое, Люцимир, Кримное. Почти половина территории парка покрыта сосновыми, сосново-дубовыми, грабово-дубовыми, ольховыми и березовыми лесами. Значительные площади занимают луга и болота. Флора парка насчитывает 825 видов сосудистых растений. В почвенном покрове преобладают дерново-подзолистые почвы. Есть также дерново-карбонатные, щелочно-болотные, болотные и торфянистые. Разнообразен животный мир: здесь водятся лось, косуля, дикий кабан, белка, ондатра, ласка, волк, выдра, куница, много птиц и рыб, среди последних – европейский речной угорь. Территория парка, в частности берега озер, используется для рекреации.

На Волынском Полесье также есть ландшафтные заказники (Нечимное, Почаевский), гидрологические заказники (Островский, Дубровский) и уникальный геологический объект – Базальтовые столбы – в Ровенской области (села Берестовец, Злазне, Иванова Долина) в районе Костополя. Значительные площади занимают заповедные болотные массивы: Переброди (19 600 га) в Дубровицком районе Ровенской области, Сырая Погоня (10 000 га) в Ракитнивском районе Ровенской области [17].

Житомирское Полесье. Это область зоны смешанных лесов, которая занимает большую часть Житомирской и восточную часть Ровенской административных областей. Западная граница Житомирского Полесья проходит вблизи населенных пунктов Клесов, Сосновое, Корец, Шепетовка, а восточная – вблизи Народичей, Малина, Радомышля, Корнина. Эти границы связаны с выходами на дневную поверхность пород Украинского докембрийского щита, который, главным образом, обусловил выделение Житомирского Полесья.

Особенности его природной среды проявляются в более высоком гипсометрическом положении (180–200 м), строении и глубине расчленения рельефа, гидрологических и гидрогеологических свойствах, меньшей заболоченности и залесенности по сравнению с другими полесскими областями, своеобразии полезных ископаемых, связанных с кристаллическим щитом. Заметное влияние на современные ландшафты имеют палеогеографические условия территории в антропогене. Западная, более высокая часть Житомирского Полесья не покрывалась ледником, и морены здесь нет. К востоку от линии, проходящей вблизи населенных пунктов Словечно, Старые Веледники, Лугины, Кривотин, Житомир, Ивница находится моренная часть области, где встречаются ледниковые формы рельефа (моренные холмы, камы, озы), преобладают супесчаные дерново-среднеподзолистые почвы и сосново-дубовые леса.

Речные долины Житомирского Полесья глубоко врезаются в докембрийские породы и на отдельных участках имеют характер долин прорыва. Так, р. Тетерев у населенных пунктов Денишев, Житомир и Коростышев имеет узкую долину с крутыми скалистыми склонами высотой до 25–30 м. Подобные участки долины имеет Уж в Коростене, Случь у Новоград-Волынского, Уборть в Олевске, Ирша в Володар-Волынском, Каменка возле Житомира и др. На лессовых «островах» в районе Словечанско-Овручского кряжа, вблизи Новоград-Волынского, Городницы, Коростышева развиты эрозионные формы рельефа. На Словечанско-Овручском кряже овраги имеют глубину 20–30 м, а длину до 3–3,5 км.

Климат Житомирского Полесья по своим особенностям занимает промежуточное положение между более влажным и теплым климатом Волынского Полесья и более континентальным климатом восточных областей.

Реки Житомирского Полесья отличаются от других полесских рек более быстрым течением, а на отдельных участках – перекатами и порогами, высшим подъемом воды во время наводнения. Рас-

тительный покров здесь сохранился меньше, площадь распаханых территорий изменяется от 15–30 % в северо-западной части до 50 % в восточной и центральной. Из всех полесских областей Житомирское Полесье наименее заболоченное. Общая площадь болот составляет лишь 2,9 % территории. Большие болотные массивы распространены только на северо-западе и севере области.

Ландшафтная структура Житомирского Полесья довольно пестрая и состоит из таких ландшафтных местностей:

– равнинно-зандровые на кристаллической основе с преобладанием дерново-слабоподзолистых почв под лесами борового и суборового типов. Водно-ледниковые пески имеют мощность 4–6 м и залегают на гранитах, гнейсах или продуктах их выветривания. Местами встречаются песчаные валы и холмы эолового происхождения, а в понижениях – небольшие болота и заболоченные земли. Больше всего эти местности распространены на северо-западе в районе Рокитного, Городницы, Емильчино;

– равнинно-зандровые и долинно-зандровые заболоченные местности с дерново-слабоподзолистыми глинистыми и болотными почвами на докембрийских кристаллических, меловых и палеогеновых осадочных породах под лесами борового типа распространены в районе Олевска, Перги, р. Болотница. Здесь встречаются верховые и переходные болота площадью более 1000 га, с мощностью торфяного слоя до 4–5 м. Самые крупные из болот – Озерянское и Гвоздь. В понижениях и долинах развиты осоково-гипновые болота, в этих районах проведены мелиоративные работы;

– моренно-зандровые и моренно-холмистые с дерново-слабоподзолистыми и дерново-среднеподзолистыми почвами ландшафтные местности распространены в восточной подобласти Житомирского Полесья вблизи Потиевки, Горбулева, Модилева, Дивочек, Торчина и др.;

– денудационные волнисто-равнинные на кристаллических породах с дерново-слабоподзолистыми щебнистыми почвами местности имеют широкое распространение в междуречьях с высоким залеганием докембрийских пород. Водно-ледниковые пески здесь маломощные или отсутствуют, встречаются элювиально-делювиальные щебнистые отложения – продукты выветривания кристаллических пород. Такие ландшафтные местности распространены в районе г. Коростеня, вблизи сел Краевщины, Топорища, Пекерщины и в других районах.

В Житомирском Полесье, в отличие от Волынского, распространены ландшафтные местности лессовых островов с серыми лесными почвами, обезлесенные и занятые преимущественно сельскохозяйственными угодьями. На них развиты овраги и балки, происходят интенсивные эрозионные процессы. Эти местности имеют черты лесостепных ландшафтов. Они встречаются на Словечанско-Овручском кряже, в районе городов Новоград-Волынского, Житомира, Коростышева и др.

Ландшафты Житомирского Полесья претерпели значительные изменения в результате антропогенной деятельности – вырубки лесов, мелиорации, распашки, особенно в связи с добычей полезных ископаемых – гранита, лабрадорита, пегматитов, кварцитов, пьезокварца, россыпных месторождений ильменита, бурого угля, гравия и др.

Экологическая ситуация в области осложнилась в связи со значительным влиянием Чернобыльской катастрофы. Особенно она коснулась Народицкого, Коростенского и Овручского районов.

На территории Житомирского Полесья находятся один государственный заповедник – Полесский и ряд заказников. Полесский государственный заповедник создан в 1968 г. в Олевском и Овручском районах. Его площадь составляет 20,1 тыс. га, из них леса занимают 73 %, болота и заболоченные земли – 22, луга – 2 %. Флора заповедника включает 528 видов высших растений. Среди естественной растительности реликтовые и эндемичные виды: рододендрон желтый, дуб скальный, плющ обыкновенный и др. Богат и разнообразен животный мир, который включает лосей, косуль, диких кабанов, волков, рысей, бобров, выдр и 90 видов птиц.

Ландшафтный заказник «Плотниця» (464 га) расположен в Олевском районе с уникальными природно-территориальными комплексами. Гидрологический заказник «Дедово озеро» с озерными экосистемами (54 га) находится в Овручском районе. Лесной заказник «Поясковский» (113 га) в Олевском районе с дубово-грабовыми лесами основан в 1926 году. Здесь сохранились дубы-великаны возрастом 300–400 лет [14–17].

Киевское Полесье. Эта естественная область расположена между Житомирским и Черниговским Полесьем. Западная граница проходит по выходам на дневную поверхность докембрийских кристаллических пород, характерных для Житомирского Полесья. Ее проводят восточнее населенных пунктов Народици, Малин, Радомышль, Холодків. Восточная граница проходит по Днепру.

В геоструктурном отношении Киевское Полесье занимает северо-восточный склон Украинского кристаллического щита к Днепровско-Донецкой впадине. Кристаллический фундамент постепенно понижается к долине Днепра, где находится на глубине 300–400 м. На нем залегают морские осадочные отложения юры, мела и палеогена, а также континентальные образования неогена и антропогена.

Выше местного базиса эрозии встречаются отложения палеогена, неогена и антропогена, которые принимают непосредственное участие в ландшафтах. Особенно значительная роль принадлежит антропогенным отложениям, которые в основном представлены ледниковыми, водно-ледниковыми, аллювиальными, озерными и эоловыми образованиями. Общая мощность их в среднем равна 15–20 м. Поверхность Киевского Полесья – это аккумулятивная низменность с господствующими абсолютными высотами 120–170 м и глубиной расчленения широкими речными долинами – 25–50 м. Главные реки – Днепр, Припять, Уж, Тетерев Ирпень, Здвиж.

Климатические условия области имеют типичные полесские черты. В частности, большая часть радиационного тепла (до 60–70 %) расходуется на испарение, отчетливо проявляется сезонность климатических процессов и явлений. Зима в Киевском Полесье мягкая и длится с конца ноября по март. Средние температуры января изменяются от –6,4 °С (Чернобыль) до –5,9 °С (Киев), а минимальные доходят до –37 °С. Зимой часто бывают оттепели. Снежный покров сохраняется до 100 дней, со средней высотой 25–30 см. Весна длится 2–2,5 месяца. Переход среднесуточной температуры через 0 °С приходится на вторую половину марта, а через +10 °С – на конец апреля – начало мая. Лето длится с конца мая до начала сентября. Среднемесячная температура в июле составляет +18–19,5 °С, а максимальная – +37–39 °С. Летом выпадает около 40 % годового количества осадков, которая составляет 530–570 мм. Осень длится с середины сентября до третьей декады ноября. Для нее характерны обложные дожди и туманы.

Внутренние воды Киевского Полесья состоят из густой гидрографической сети рек, Киевского водохранилища, озер, болот, грунтовых и подземных вод.

Основные типы почв – различные виды дерново-подзолистых, которые являются преобладающими, торфяно-болотные и серые лесные на лессовых «островах». Среди естественной растительности главную роль играют сосновые, грабово-дубово-сосновые, ольховые леса, кустарники, луговая и болотная растительность. Леса и кустарники занимают около 50 %, луга – 2,2, болота и заболоченные земли – 3,2 % территории. Площадь распаханых земель достигает 36,8 %.

Вследствие Чернобыльской катастрофы 1986 года значительные площади сельскохозяйственных угодий, лесных массивов, водных объектов Киевского Полесья выведены из хозяйственного использования в связи с загрязнением радиоактивными элементами.

В *ландшафтной структуре* Киевского Полесья наибольшие площади занимают моренно-зандровые слабоволнистые низинные равнины с дерново-среднеподзолистыми почвами, покрытые боровыми и субборовыми лесами; моренно-холмистые равнины с дерново-среднеподзолистыми почвами с субборовыми и сугрудковыми лесами; зандровые низменные равнины с дерново-слабоподзолистыми почвами и боровыми лесами; надпойменно-террасные низменности с дерново-слабоподзолистыми почвами и лесами преимущественно борового типа; пойменные лугово-болотные низинные с слабоподзолистыми и болотными почвами и лессовые эродированные «острова» с серыми лесными почвами.

На моренно-зандровых низинах весьма распространены водно-ледниковые пески, которые в основном залегают на морене. На поверхности встречаются блюдцевидные понижения с оглееными почвами. Зандровые участки леса состоят преимущественно из сосны, а на моренных растут дуб и граб. Моренно-холмистые равнины характеризуются наличием ледниковых и водно-ледниковых форм в виде моренных холмов и гряд, типа камы и озы, с относительной высотой 15–20 м. Понижения между холмами и грядами заняты лугами, иногда низинными болотами. Эти ландшафтные местности распространены вблизи сел Чистоголивки, Лельова, Корогода, Андриивки недалеко от Чернобыля. Зандровые равнины занимают значительные площади в Киевском Полесье, особенно в северной части. На поверхности зандровой равнины выделяются песчаные валы и гряды, верхняя часть которых преобразована ветром. В большинстве своем зандровые равнины залесены сосной, березой, ольхой или осиной. Отдельные участки заняты суходольными лугами. Из сельскохозяйственных культур преобладают рожь и картофель. Во многих местах зандровые равнины переходят в надпойменные песчаные террасы рек Припять, Уж, Тетерев, Ирпень и др. Пойменно-лугово-болотные ландшафты занимают поймы, которые достигают ширины от 1,5–2 до 7–8 км. Во многих долинах проведены мелиоративные мероприятия (Ирпень, Здвиж), которые позволили использовать эти земли для выращивания овощных культур. Лессовые «острова» встречаются небольшими участками вблизи населенных пунктов: Чернобыль, Иванков, Приборськ, Бородянка, Дымера, Вышгород и др.

Из природоохранных объектов Киевского Полесья крупнейшие – это Днепровско-Тетеревское государственное лесохозяйственное хозяйство (площадь более 30 тыс. га) и Ильинский гидрологический заказник (более 2 тыс. га).

Киевское Полесье получило значительное радиоактивное загрязнение вследствие Чернобыльской катастрофы 1986 г. Главная роль в загрязнении региона принадлежит долгоживущим радиоакти-

вным элементам с длительным периодом распада – цезия-137, стронция-90, плутония-239. Выпадение и распределение радионуклидов на земной поверхности связано с движением воздушных масс и определенным образом с морфологией и свойствами ландшафтов, особенно таких составляющих, как рельеф, в частности экспозиция склонов, характер растительности и почв. Например, повышение загрязненности регистрируется в пределах Киевского Полесья на Чернобыльско-Чистоголиивской морской гряде, болотных массивах, заводях, в отдельных лесных массивах. Значительное влияние на миграцию радионуклидов оказывают ландшафтные условия территории. Загрязнение ландшафтов цезием-137 составляет от $18,5 \cdot 10^{10}$ до $148 \cdot 10^{10}$ Бк/км², стронцием-90 – от $3,7 \cdot 10^{10}$ до $11 \cdot 10^{10}$ Бк/км². Поэтому ученые всех отраслей знаний активно участвуют в исследованиях, направленных на разработку мероприятий по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы [14–17].

Черниговское Полесье. Это физико-географическая область зоны смешанных лесов, которая простирается от Днестра на западе до ее восточной границы, проходящей вблизи устья р. Ревна (бассейн р. Снов), на запад от пгт. Холмы и Понорница, с. Оболонья, на восток от пгт. Короп и на запад от г. Кролевец. Область расположена в пределах Днепроовско-Донецкой впадины, что в значительной мере обусловило ее физико-географические особенности.

Кристаллический фундамент опускается на глубину несколько тысяч метров и перекрыт палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями. Выше местных базисов эрозии залегают палеогеновые, неогеновые и антропогенные отложения. Последние чаще всего представлены ледниковыми (морена), водно-ледниковыми, аллювиальными, озерными, золовыми и лессовидными отложениями. По характеру рельефа Черниговское Полесье – аккумулятивная низменность со значительными площадями современных и древних речных долин.

Климат Черниговского Полесья можно охарактеризовать как умеренно континентальный, со значительным увлажнением в течение года, высокой относительной влажностью и слабыми ветрами. По сравнению с западными областями Черниговское Полесье отличается большей амплитудой годовых температур, низкими зимними температурами, большей продолжительностью периода со снежным покровом. Средняя годовая сумма осадков – 500–610 мм.

Речная сеть области густая. Реки характеризуются незначительным падением, спокойным течением и меандрированием. В долинах Днестра, Десны, Снова, Сейма много пойменных озер.

Заболоченность Черниговского Полесья достаточно велика. Площадь торфяных болот составляет более 4,5 % всей территории. Почти все болота относятся к низинному типу. Переходные и верховые болота встречаются очень редко. Крупнейшими болотами являются Замглай (8334 га), Остерское (10 558 га), Сновское (9400 га), Смолянка (4288 га), Доч-Галы (3600 га), Выдра (2458 га), Парысте (2340 га).

Большинство болот мелиорировано и превращено в сельскохозяйственные угодья. В почвенном покрове преобладают дерново-подзолистые почвы, значительные площади заняты болотными и серыми лесными почвами; последние наиболее плодородные. Особенностью природных условий Черниговского Полесья являются встречающиеся местами засоленные почвы (луговые содовые солончаки и солонцы). Эти почвы приурочены к лессовым «островам» на террасах с близким к поверхности уровнем грунтовых вод. В долинах Десны и Остра развились луговые солонцеватые и осолоделые почвы.

Лесистость Черниговского Полесья наименьшая по сравнению с другими полесскими областями и составляет 15–18 %. Основные площади заняты сосновыми и дубово-сосновыми лесами. Менее распространены липа, клен, вяз. В области проходит восточная граница сплошного распространения граба. Крупнейшие лесные массивы сохранились в междуречье Днестра – Десны, на левобережной террасе Замглая, на междуречье Снова – Десны.

Большие площади занимают пойменные и суходольные луга, которые являются значительной кормовой базой. Болотные массивы покрыты такими влаголюбивыми, как различные осоки, камыш, рогоз, сытник и др.

Земельные угодья области распределяются следующим образом: пахотные земли занимают более 42 %, сады и ягодники – 0,7, сенокосы – 15,5, выгоны и пастбища – 6,5, леса и кустарники – 21, болота – 4,5 %.

Своеобразие **ландшафтной структуры** области заключается в том, что полесские местности занимают 63 % всей территории, а более 18 % территории имеет лесостепные черты. Значительная часть представлена долинными ландшафтами.

Морено-зандровые низменности с различными дерново-подзолистыми почвами в комплексе с глинистыми и болотными значительно распространены на севере и северо-востоке. Во многих местах они облесены и заняты сельскохозяйственными угодьями. Зандровые низменности характеризуются преобладанием песчаных и супесчаных дерново-среднеподзолистых почв в сочетании с заболоченными.

На Черниговском Полесье сравнительно широко развиты надпойменно-террасные местности с дерново-среднеподзолистыми почвами. Они широкими полосами простираются вдоль рек Днепр, Десна, Снов, Сейм и др. Их используют под сельскохозяйственные угодья. Леса сохранились небольшими массивами. Более залесенными являются первые надпойменные террасы, где развиты боровые и суборовые леса.

Своеобразными ландшафтами характеризуются проходные песчано-болотные долины. Самая большая из них – древняя проходная долина Днепра – Замглай. Она простирается в субмеридиональном направлении от Днепра до Десны на 60 км, при ширине 8–10 км. Дно долины занято низинными болотами и торфяниками. Мощность торфа достигает в среднем 1,5–2 м, максимальная – до 5–6 м. Торфяные месторождения разрабатываются. Часть болот Замглая мелиорирована и используется под сельскохозяйственные угодья. Песчаные лугово-болотные местности проходных долин распространены также в северо-восточной части Черниговского Полесья на границе с Новгород-Северским Полесьем, в междуречье Снов – Десна.

Лугово-болотные местности современных пойм занимают значительные площади в долине Днепра, Десны, Снова, Убеди, Мены, Остра и их притоков. Высота их – 1,5–2 м над уровнем воды. На поверхности пойм много озер, стариц, проток [14–17].

Новгород-Северское Полесье – это природная область Полесской (смешанных лесов) физико-географической провинции. Расположена на крайнем востоке Приднепровской низменности и на пониженном склоне Среднерусской возвышенности, в пределах Черниговской и Сумской областей.

В геоструктурном отношении связана с юго-западным склоном Воронежского массива. Ландшафтные особенности Новгород-Северского Полесья обусловлены особенностями геолого-геоморфологических условий – распространением меловых отложений, выходящих во многих местах на дневную поверхность, незначительной мощностью антропогенных отложений, значительной глубиной (до 100 м) и плотностью эрозионного расчленения поверхности (плотность овражно-балочной сети иногда превышает 1 км/км²), незначительной глубиной залегания грунтовых вод и более континентальным климатом (по сравнению с другими областями зоны).

Среди ландшафтов смешанных лесов (более 80 % площади области) преобладают моренно-водно-ледниковые, характеризующиеся лесистостью (более 30 %) и заболоченностью (до 20 %), развитием проходных долин и карстовых впадин. Фоновыми урочищами выступают плоские и слабоволнистые междуречья, сложенные маломощными песками с прослойками оглеенных песков с дерново-слабоподзолистыми почвами под суборями и слабоврезанные широкие заболоченные долины, занятые низинными торфяниками.

Лесостепные ландшафты (занимают более 15 %) представлены очень расчлененными лесными равнинами, размещенными небольшими участками, преимущественно на правом берегу Десны. Типичны сложные урочища свежих и сырых глубоких балок с крутыми склонами с грабово-дубовыми и кленово-липово-дубовыми лесами, местами с суборями.

Пойменные местности (около 5 %) хорошо развиты в долине Десны, а также ее левобережных притоков; их используют в основном под сенокосы и пастбища. Распространены высокие волнистые, суженные поймы с дерновыми слабоглееватыми почвами под злаково-разнотравными лугами и низкие, плоские, расширенные поймы, сложенные низинными торфяниками под влаготравно-осоковыми группировками, с заболоченными притеррасными комплексами под черноольховыми лесами и осокво-болотной растительностью.

Здесь преобладает сельскохозяйственное и горнодобывающее природопользование. В пределах области находится заказник государственного значения – Большой Бор [14–17].

В целом для почвенного покрова Полесья характерна высокая мозаичность. Это объясняется, с одной стороны, большим разнообразием почвообразующих пород (долины имеют большую ширину, междуречья здесь покрыты однородными лесами, как в южных регионах Украины), с другой стороны, значительными различиями в увлажнении, которые, в свою очередь, связаны с высоким средним уровнем залегания грунтовых вод и преимущественно легким гранулометрическим составом почв, по этой причине они слабо удерживают воду и легко пересыхают.

Повышение поверхности почвы лишь на несколько десятков сантиметров в Полесье, как правило, вызывает большие изменения в почвообразовательных процессах и составе растительности. Полесье занимает юго-западную часть зоны подзолистых почв с широким развитием дерново-подзолистых почв (6,9 % общей площади), болотных и торфяно-болотных (13 %), дерново-луговых (10 %) и других (7–8 %). По гранулометрическому составу дерново-подзолистые почвы Полесья относятся к песчаным, супесчаным и песчано-легкосуглинистым. Они представлены дерново-слабоподзолистыми (речные террасы, зандровые долины средней части Полесья), дерново-среднеподзолистыми (водораздельные про-

странства водно-ледниковых и моренных отложений почти всех областей Полесья) и дерново-сильнопodzolistыми (Житомирское Полесье).

Эти почвы малоплодородны, требуют высокой агротехники. Плодородными почвами Полесья являются дерново перегнойно-карбонатные (южная и юго-западная часть Волынского Полесья), серые лесные и оподзоленные черноземы (Туровская равнина, отдельные островки в Черниговском и Житомирском Полесье). Основные почвы характеризуются рядом общих неблагоприятных свойств: кислой реакцией, незначительным содержанием гумуса, чрезмерной водопроницаемостью, значительно подвергаются воздействию эрозии и тому подобное.

Целесообразно выделять Западное, Центральное и Восточное Полесье [19] не в отношении административных границ, а по естественно-историческим различиям (рис. 1.4).

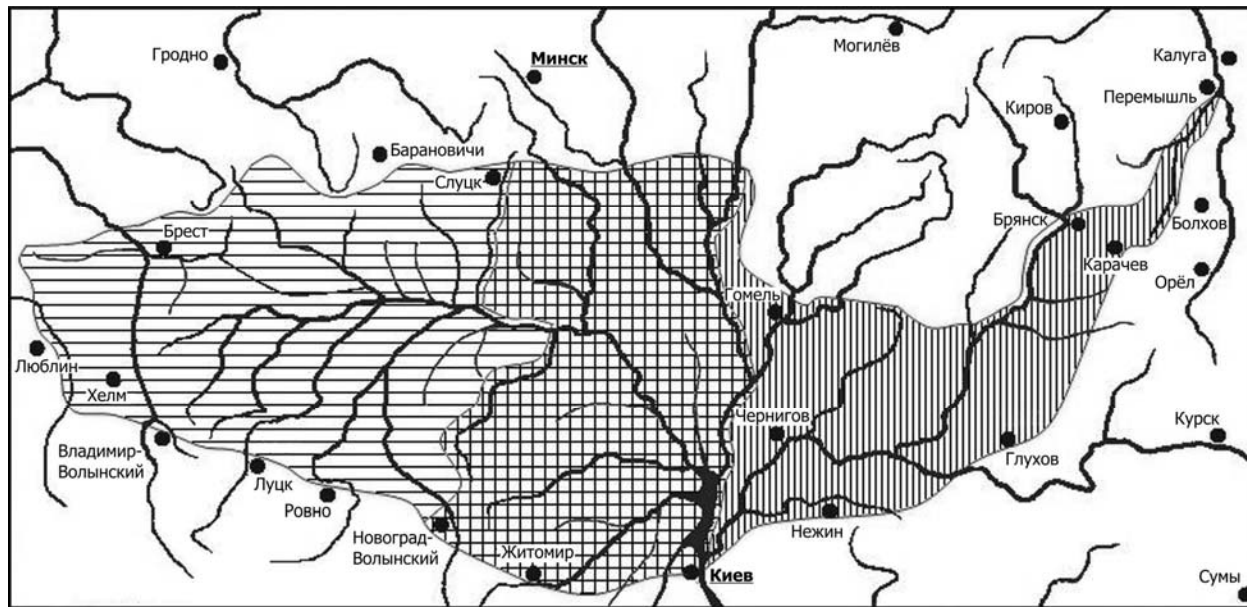


Рис 1.4. Границы Полесья (Западное, Центральное, Восточное) [19]

По литературным данным [20], Белорусское и Украинское Полесье, большую часть которого составляет низменность бассейна Припяти, это болота и леса. Глубокая котловина припятского бассейна до XIX в. представляла собой непрерывный ряд болот, болотных водоемов и на огромных пространствах не была освоена под земледелие. Население, рассредоточенное по селам и хуторам, удаленным друг от друга на значительные расстояния, весной и осенью было изолировано от активного общения с соседними селами, городами и городками.

Следы древнего земледелия обнаружены археологами на возвышенностях с сухой суглинистой плодородной почвой, расположенных по обоим берегам Припяти (от Турова до правобережья Днепра в Речицком уезде Минской губернии). Места с плодородной почвой встречались в Пинском уезде между реками Пиной и Ясельдой, где также обнаружены следы древней земледельческой культуры. Однако на всем пространстве Полесья господствовали болотные и песчаные почвы, которые требовали усиленного внесения удобрений и при низкой агрокультуре давали малые урожаи. Поэтому уже в конце XVIII – начале XIX в. актуальной стала проблема поиска более эффективных мер ведения зернового и животноводческого хозяйства в зоне Полесья.

1.3. Мелиорация как необходимое условие развития Полесского региона

Полесская низменность слабо наклонена к Припяти и Днепру, сильно заболочена, залесена; имеет много пресных озер, болот, торфяников. Мелиоративный фонд земель составляет 3,7 млн га, из них торфяно-болотные почвы занимают почти 0,95 млн га, минеральные переувлажненные – 2,75 млн га. Это составляет 68,5 % болот, заболоченных площадей и переувлажненных минеральных земель Украины, поэтому Полесская зона Украины является основным районом проведения осушительных мелиораций.

Проблемой использования земель Полесской низменности начали заниматься еще в XVI веке. При этом история осушения Полесья тесно переплетается с историей осушительных работ в Европе. История же мелиорации в Европе берет начало с Древнего Рима. Есть сведения, что сам император Цезарь интересовался проблемой осушения Понтийских болот близ Рима. Эти болота осушают много

веков, и продолжали это делать до недавнего времени. Крупным объектом многовековой мелиорации болот также является Падано-Венецианская равнина на севере Италии.

Искусство осушения болот и заболоченных земель было привнесено в европейские страны римскими солдатами. На территории современной Англии римским солдатам-крестьянам предписывалось: «Если земля сырая, она должна быть осушена с помощью вырытых каналов глубиной четыре фута (1,22 м)». После римлян до XI в. новые осушительные работы не проводились. В XI в., после завоевания страны норманнами, работы по осушению продолжились. В 1252 г. в королевской хартии короля Генриха III был принят первый закон об осушении сельскохозяйственных земель, который стал основой развития мелиорации в последующие века. Пример Англии по развитию осушения является уникальным, именно отсюда распространились опыт и техника мелиорации в другие страны, поэтому необходимо на нем остановиться.

Рост населения страны побудил государство и церковь обратиться к опыту осушения земель. В XII–XIII веках за счет предприимчивости крестьян и землевладельцев осушительные работы продолжались. В середине XVII в. полным ходом шли осушительные работы на болотах, несмотря на противодействие «болотных людей», живших среди болот, которые хотели сохранить свои жизненные блага, получаемые рыболовством, добычей торфа, использованием болот под травами.

В 1652 г. в Англии была опубликована книга В. Блэйда по осушению, в которой наряду со строительством каналов было рекомендовано строительство закрытого дренажа. В 1724 г. был сконструирован первый «дренажный плуг» для строительства кротового дренажа. Первый закрытый дренаж в современном виде был заложен в графстве Суффолк в 1727 г. В 1764 г. фермер Дж. Элкингтон открыл явление напорности грунтовых вод на болотах и предложил закладывать выборочный дренаж с разгрузочными колодцами, которые были погружены в напорный водоносный горизонт.

В России широкую пропаганду опыта использования болот в земледелии начал М. В. Ломоносов (1711–1765). Интересная история развития мелиорации в Беларуси [21]. Великий князь литовский и польский король Сигизмунд I передал свои полесские владения в качестве свадебного подарка молодой жене итальянке Боне Сфорца, дочери миланского герцога Сфорца и Изабеллы Арагонской. Королева Бона славилась красотой и большой энергией, которую она направляла на приумножение собственного богатства. Путешествуя по бассейну реки Стырь (приток реки Припять), она была захвачена тем, что увидела. Так, к своим и без того огромным владениям Бона присоединила Давид-Городоцкое, Пинское и Кобринское староства, которые были истинно полесскими землями. Она способствовала колонизации неосвоенных земель, рационализации сельского хозяйства, а это требовало мелиоративного вмешательства в природу. При проведении первой Белорусской аграрной реформы 1557 г. крестьяне получили здесь в наследование волоки земли.

Особую роль в развитии данного полесского региона сыграл Матеуш Бутримович (1745–1814), Пинский городской судья и подстароста, посол на четырехлетний сейм в Варшаву, кавалер ордена Святого Станислава. Он первым из землевладельцев той эпохи приступил к широкой мелиорации заболоченных территорий, финансировал прокладку новых дорог, оказывал всяческое содействие строительству Огинского и Королевского (ныне Днепровско-Бугского) каналов. В 1773 году на мелиорированных землях начали строиться усадьбы.

Через столетие была вновь предпринята попытка проведения осушения болот и заболоченных земель Полесской низменности. В мае 1872 г. была создана комиссия «для исследования состояния сельского хозяйства», которая пришла к выводу о том, что «осушение болот крайне необходимо во многих губерниях, в том числе – Минской и Волынской». В 1873 г. была организована Западная (Полесская) экспедиция, которая должна была охватить территорию площадью около 9 млн га, под руководством геодезиста, генерал-лейтенанта Иосифа Ипполитовича Жилинского (1834–1916). И. И. Жилинский предложил осушить обширные пространства Полесья и превратить их в сельскохозяйственные угодья.

Предыдущие изыскания 1873–1874 гг. позволили И. И. Жилинскому разработать Генеральный план осушения Полесья. Генерал намеревался, «...отклонив причины, которые вызывают возникновение болот, достичь более равномерного распределения влаги и таким образом освободить заболоченный простор от излишков воды». Осушение было предложено проводить путем отвода воды с заболоченных территорий с помощью строительства мелиоративных каналов, спрямления существующих водотоков, что должно было обеспечить снижение уровня грунтовых вод и возможности проведения сплава леса. За годы работы экспедиции было осушено 450 тыс. десятин, в том числе 221 тыс. десятин казенных дач и 229 тыс. десятин земель землевладельцев. Вследствие проведенных работ было создано [22]:

- а) новых лугов на ранее недоступных болотах – 355 000 дес.;

- б) новых пахотных, огородных и приусадебных земель – 115 000 дес.;
- в) осушено заболоченных лесных пространств – 530 000 дес.;
- г) площадей ценных лесов, растущих на сухих островах, для сплава которых устроены пути, – 640 000 дес.;
- д) площадей земель, которые не требовали непосредственного осушения, но для них созданы лучшие условия эксплуатации, – 1 215 000 дес.

На работы по канализации (осушению) к концу 1897 г. было потрачено 3 806 000 руб., что составляло на 1 десятину (1,0925 га) всего края 1 руб. 33 коп. Стоимость осушения 1 дес. болота составляла около 4 руб. Стоимость земель в Полесье сильно поднялась: до канализации средняя продажная цена десятины равнялась 4 руб., а после – 28 руб. В 1878 и 1879 гг. площадь сенокосов равнялась 10 238 дес., и казна получала с них дохода 7552 руб.; в 1888–1889 гг. их было уже 51 376 дес., а доход равнялся 10 743 руб.; в 1896–1897 гг. площадь сенокосов увеличилась до 59 203 дес., а доход казны достиг 149 685 руб. Из этих цифр видно, что большая часть осушенных пространств, принадлежащих казне, была превращена в луга. То же самое можно сказать об осушенных землях, принадлежавших частным землевладельцам и крестьянам, хотя точных статистических данных о них нет.

Во время неурожая 1891–1892 гг. в средних черноземных губерниях и в Поволжье распространилось мнение, что осушение Полесья было причиной этого неурожая. С этим нельзя согласиться как потому, что места, пораженные засухой и неурожаем, очень отдаленные от Полесья (от 500 до 1000 верст и более), так и потому, что осушение бы влияло только на поверхностные воды. Почвы лугов и лесов Полесья влажные даже в середине лета; уровень грунтовых вод держится высоко, многочисленные каналы и канавы дают возможность еще повысить его, когда нужно. Поэтому роскошная растительность луговых трав растет до осени, а травы испаряют много воды. Многочисленные исследования показали, что при полном развитии хлебных злаков и луговых трав с данной территории испаряется не менее воды, чем в то же время и при прочих равных условиях с территории, покрытой водой. Вопрос о том, уменьшилось ли количество осадков на значительной территории России, стало предметом исследования Е. Гейнца «К вопросу о влиянии осушения Пинских болот на осадки соседних местностей», который пришел к отрицательному ответу [22].

Одновременно проводились исследования по выращиванию на мелиорированных землях озимых и яровых культур, кормовых трав и овощей, «чтобы на деле показать полесскому крестьянину способы и приемы разработки болот под пашню и огороды, хорошим примером вызвать у него желание к заимствованию опыта». В том числе проводились опыты с использованием навезенного минерального грунта.

В результате работы Западной экспедиции оздоровился климат, потеряли эпидемический характер распространенные в данной местности болезни. И. И. Жилинский после начала работ по строительству магистральных каналов сообщал: «В канализованных частях Полесья много болезней, таких как лихорадка, грудные и горловые, потеряли эпидемический характер, а колтун и вовсе исчез».

Этот проект не имел аналогов в мире. За осушительные работы в Полесье И. И. Жилинский еще до их завершения был награжден Золотой медалью на Всемирной выставке в Париже в 1878 году.

В 1903 г. генерал И. И. Жилинский писал: «Сделанные до сих пор канализационные работы на Полесье можно считать достаточными для нынешних экономических условий страны, по мере же изменения этих условий, по мере увеличения населения и культуры страны будет неизбежной необходимостью расширения сети каналов. Нельзя рассматривать работу вполне законченной – только положено начало для такого рода работы в будущем» [23].

Судьба полесских болот постоянно вызывала острые споры – необходимость осушения обосновывали многими аргументами. Преобразование Полесья путем проведения мелиорации, утверждали ученые, увеличит площадь земель, пригодных для сельскохозяйственных работ, повысит их ценность. Однако сразу нашлись и противники этого замысла. Инженеры водных путей заявили, что осушение вредно, потому что снизит уровень воды в реках и усложнит судоходство на Припяти и Днепре. Перед началом Первой мировой войны в журнале «Болотоведение» было написано: «За последние годы стал модным вопрос о пересушивании болот. Отовсюду поступают жалобы на печальные последствия осушения: болота, которые поставляли хоть и плохой, грубый корм, после осушения стали давать только мизерное количество сена... Некоторые уже отчаянно опускали руки: мол, придется выращивать верблюдов – для будущей полесской пустыни. Значительная часть ученых считала, что на самом деле болота стабилизируют гидрологический режим, аккумулируют влагу, сохраняют водность рек, озер, колодцев, уменьшают силу засух в других местностях, являются хорошим домом для большого количества птиц, животных, настоящим раем для растительности, огромной кладовой биологических богатств». Поэтому уже тогда встал вопрос – все ли болота стоит осушать? [24].

Две мировые войны и другие исторические проблемы приостановили проведение работ по мелиорации земель в первой половине XX века. Широкомасштабные работы были возобновлены только с 60-х годов XX века. За этот период построено и эксплуатируется 1130 осушительных систем, в том числе 527 межхозяйственных и 603 внутрихозяйственных. Только за период с 1980 по 1990 год общая площадь земель с осушительной сетью выросла на 37 %, улучшилась структура сельскохозяйственных угодий посевных площадей. Удельный вес пашни вырос с 65,7 % в 1980 г. до 70,7 % в 1990 г.

Как признание чрезвычайно важной роли мелиоративного освоения Украинского Полесья в 1979 г. возле с. Мирное Костопольского района Ровенской области (Волынское Полесье) был установлен памятник мелиораторам в честь освоения миллионного гектара осушенных земель в Украине.



Рис. 1.5. Памятник мелиораторам в честь освоения миллионного гектара осушенных земель в Украине

В целом, за почти 20-летний период здесь было введено в эксплуатацию около 1,5 млн га осушенных земель, в том числе более 700 тыс. га с увлажнением, что соответственно составляло около 50 и 60 % от общей площади осушенных сельскохозяйственных угодий в Украине.

Из общей площади земель с осушительной сетью в активном сельскохозяйственном производстве использовалось 1976,5 тыс. га, что составляет 89,6 %, а под лесом, кустарником, торфоразработками, каналами, дорогами находилось 222 тыс. Га, или 10,1 %. В структуре посевных площадей на осушенных землях в 1990 г. преобладали зерновые и технические культуры (43,7 %) [25, 26].

Согласно литературным данным [27] выделяется три этапа развития проектирования и строительства осушительных систем в послевоенный период в западных областях Украины с учетом изменений конструктивных особенностей:

1) 1946–1960 гг. – проектирование и строительство осушительных систем с открытой сетью каналов;

2) 1961–1975 гг. – проектирование и строительство систем с материальным горизонтальным дренажем;

3) 1976–1990 гг. – проектирование и строительство современных систем с двусторонним регулированием водно-воздушного режима, водооборотных и осушительно-увлажнительных систем с автоматизированным водорегулированием.

Проекты осушения предусматривали регулирование водного режима и, в отдельных случаях, строительство дамб вдоль русел рек, в пределах осушенных пойм, перехват склоновых, делювиальных вод нагорными каналами, ускорение поверхностного стока, оттока инфильтрационных вод и понижение уровня грунтовых вод как открытой сетью каналов, так и гончарным дренажем. По характеру воздействия на водный режим земель мелиоративные системы Украины, в основном, одностороннего действия. Сток осушительных систем не зарегулирован, а применение шлюзования ограничено.

Из общей площади осушения (2,2 млн га по состоянию на 1990 г.) только на площади 450 тыс. га проводилось увлажнение, из них по кротовым дренам на площади 174 тыс. га, инфильтрацией из открытых каналов – 264 тыс. га, дождеванием – 12 тыс. га [26]. Открытой сетью каналов, построенных в разное время, осушаются поймы всех главных рек и их многочисленных притоков (табл. 1.1).

Это привело к бурному развитию сельскохозяйственных предприятий по производству и переработке продукции растениеводства и животноводства. Возродились села, выросли новые оборудованные населенные пункты, учреждения образования и культуры, увеличилась численность населения, значительно улучшились социально-экономические условия его проживания, начало исчезать принципиальное различие между городом и селом.

Таблица 1.1

Способы осушения земель Украины [27]

№ п/п	Административные образования, области	Общая площадь осушенных земель					
		всего		с закрытым дренажем		с двусторонним регулированием водного режима	
		тыс. га	% от площади области	тыс. га	% от площади области	тыс. га	% от площади области
1	Винницкая	57,3	2,2	51,0	89,0	3,3	5,8
2	Волынская	416,6	20,7	236,6	56,8	157,2	37,7
3	Донецкая	4,7	0,2	0,1	2,1	-	-
4	Житомирская	425,4	14,3	296,7	63,4	188,7	44,3
5	Закарпатская	183,8	14,4	148,5	80,8	1,9	1,0
6	Ивано-Франковская	195,5	14,0	195,2	99,8	2,9	1,5
7	Киевская	188,8	6,7	91,4	48,4	68,0	36,0
8	Луганская	11,1	0,4	0,4	3,6	10,2	91,9
9	Львовская	513,2	23,5	390,1	76,0	36,4	7,1
10	Одесская	4,4	0,1	0,1	2,3	-	-
11	Полтавская	37,2	1,3	8,4	22,6	26,2	70,4
12	Ровненская	390,4	19,5	275,0	70,4	234,3	60,0
13	Сумская	106,6	4,5	55,7	52,3	72,9	68,4
14	Тернопольская	165,6	12,0	151,4	91,4	10,2	6,2
15	Харьковская	11,8	0,4	4,2	35,6	5,6	47,4
16	Хмельницкая	117,5	5,7	97,8	83,2	24,9	21,2
17	Черкасская	55,7	2,7	4,6	8,3	31,5	56,6
18	Черновицкая	121,8	15,0	121,4	96,7	-	-
19	Черниговская	300,0	9,4	167,8	55,9	241,0	80,3
	Всего:	3307,4	5,5	2296,4	69,4	1115,2	33,7

Гончарный дренаж является основным способом осушения переувлажненных и заболоченных земель Украины, а площадь осушенных гончарным дренажем земель составляет 1,4 млн га.

В мелиоративной практике об использовании дренажа известно с древнейших времен. Например, древние римляне применяли мелкие каналы, заполненные камнем или хворостом, для осушения земель, позаимствовав этот способ у более древних народов Востока.

Дренажные системы для мелиорации заболоченных почв, а также для борьбы с засолением орошаемых почв были известны во времена Древнего Египта, Индии, Ассирии, Вавилона и открыты раскопками Парфянского государства с его столицей Несс в районе современного г. Ашхабада [28].

На территории Древней Руси первые осушительные работы проводились в XI–XII вв. в Новгородском, Владимирском и Московском княжествах. При Петре I в России было начато осушение земель, прилегающих к Финскому заливу [29, 30].

Начиная с 1650 г. стали появляться дренажные системы из дерева, фашин и камня (гравия) в Англии. Позже в Шотландии, а затем и в Германии начали применять дрены из фасонной черепицы. Изобретение прессы для изготовления гончарных дренажных труб в 1840 г. в Англии способствовало быстрому распространению дренажа по всей Европе [31].

С начала 50-х годов XIX века получает развитие гончарный дренаж и в России. В 1853 г. в Риге были показаны первые результаты дренажных работ, несколько позже, в 1857 г., на сельскохозяйственной выставке при Горы-Горецком институте демонстрировались гончарные трубки местного про-

изводства. С 1853 г. академик Н. И. Железнов изучал действие гончарного дренажа с целью применения в различных местностях России и установил достаточно эффективную его работу на переувлажненных глинистых почвах [30]. В 50-х годах прошлого века в Петербурге инженер Фалевич читал курс лекций о применении дренажа в земледелии [33]. Строительство закрытого горизонтального дренажа широко применялось в балтийских районах России.

За 1879–1897 гг. в западных областях Украины (нынешние Львовская, Ивано-Франковская, Черновицкая и Закарпатская области) было дренировано 7575 га. Всего на Западной Украине площади, дренированные 50 и более лет назад, составляют 20 тыс. га [30, 34]. Проведение осушения земельных угодий только с помощью закрытого горизонтального дренажа характерно для Черновицкой, Одесской, Донецкой областей.

Преобладание части земель, осушенных с помощью этого способа, отмечается также в Ивано-Франковской, Тернопольской, Хмельницкой, Винницкой областях. Крупнейшими площадями осушения, проведенного с помощью двустороннего регулирования водного режима, характеризуются Луганская (91,9 % от площади осушения), Черниговская (80,3 %), Полтавская (70,4 %), Сумская (68,4 %) области, но по абсолютным показателям наибольшие площади с гарантированным регулированием водного режима сельскохозяйственных угодий расположены в Полесском регионе (табл. 1.1).

Таким образом, осушительные мелиоративные работы были проведены в большинстве областей современной Украины, но чрезвычайно важную роль они сыграли в становлении и повышении эффективности аграрного производства именно в зоне Полесья.

1.4. Современное состояние и пути повышения эффективности использования мелиорированных угодий Полесья

Итак, зона Полесья является уникальным природным комплексом. Проведение работ по мелиорации земель стало весомым фактором социально-экономических преобразований этого края и играет важную роль в развитии отраслей экономики. Мелиорированные переувлажненные земли в гумидной зоне Украины являются важным, а во многих регионах единственным гарантом стабильного ведения земледелия и создания надежной кормовой базы для обеспечения потребностей животноводства, независимо от погодно-климатических условий.

Проведенный комплекс мелиоративных работ значительно повлиял на водный режим заболоченных и переувлажненных земель – сократилась продолжительность весеннего и летне-осеннего паводкового затопления, понизилась глубина залегания уровня грунтовых вод. Уровень грунтовых вод был основным критерием для определения расчетного водного режима активного слоя почв при проектировании осушительных систем и управлении водорегулированием во время их эксплуатации.

Мелиоративные системы в гумидной зоне, общее количество которых составляет 1660, в зависимости от конструктивно-технологических характеристик делятся на следующие основные типы: осушительные системы одностороннего действия (8 %); осушительно-увлажняющие системы двухстороннего действия (34 %); водооборотные (47 %) и системы польдерного типа (11 %) [36].

Технически совершенными являются системы польдерного типа. Первые три типа систем обеспечивают своевременный отвод поверхностных и грунтовых вод во влажные периоды и для подачи воды на увлажнение в засушливые периоды.

Польдерные системы выполняют эти же функции и дополнительно обеспечивают защиту сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов от затопления и подтопления во время прохождения наводнений и паводков, а также создания благоприятных условий для высокопроизводительного использования мелиорированных земель за счет поддержания благоприятного водно-воздушного режима в корнеобитаемом слое почвы.

По способу отвода воды с осушаемой территории польдерные системы делятся на системы с механическим водоподъемом, самотечные и комбинированного типа. Польдерные системы преимущественно построены в поймах рек, приозерных территориях и мелководьях водохранилищ.

За период с 1965 г. площади осушаемых земель в Украине увеличились от 1,3 до 3,3 млн га (табл. 1.2). После проведения мелиорации эти сельскохозяйственные угодья стали основой высокопродуктивного земледелия и укрепления экономики хозяйств. Однако после реформирования аграрного сектора на значительной площади осушаемых земель Полесья не достигнуто проектной урожайности прошлых лет. Такое положение с использованием осушаемых земель является следствием выхода из строя осушительных систем и вторичного заболачивания, а в отдельных случаях – переосушения земель. Причиной этого стало и то, что в последние 20–25 лет значительное количество построенных систем не соответствуют совершенным, для современного уровня, мелиоративным системам, а также техническим и экономическим требованиям. А без учета всего комплекса почвенных, гидрогеологи-

ческих условий, изменения климатических и антропогенных факторов, в том числе радиоактивного загрязнения, их использование в дальнейшем все более усложняется. Так, из-за отсутствия надлежащего ухода за осушительной сетью и других причин площади с неудовлетворительным состоянием осушаемых земель в Украине достигли почти 1 млн га.

Таблица 1.2

Структура осушенных земель Украины по состоянию на 01.01.2006 [27]

№ п/п	Административные образования, области	Общая площадь осушенных земель		Сельскохозяйственные земли, тыс. га,						Леса, тыс. га	Застроенные земли, тыс. га	Другие земли, тыс. га
		тыс. га	% от общей площади области	Всего	в том числе							
					пашня	залежи	многолетние насаждения	сенокосы	пастбища			
1	Винницкая	57,3	2,2	56,5	44,6	-	0,1	5,2	6,5	0,3	-	0,5
2	Волынская	416,6	20,7	347,0	152,3	-	0,1	95,8	98,5	59,9	1,0	8,7
3	Донецкая	4,7	0,2	4,4	1,3	-	-	0,8	2,3	0,1	-	0,2
4	Житомирская	425,4	14,3	363,3	268,9	21,4	0,6	33,3	32,8	40,6	2,1	19,4
5	Закарпатская	183,8	14,4	172,7	125,9	-	4,3	10,0	28,6	5,7	-	5,4
6	Ивано-Франковская	195,5	14,0	195,2	144,0	14,1	0,5	10,5	25,1	-	-	0,3
7	Киевская	188,8	6,7	172,4	94,5	0,9	0,1	35,9	21,6	2,1	0,2	14,1
8	Луганская	11,1	0,4	10,2	1,8	-	-	4,6	3,8	0,2	-	0,7
9	Львовская	513,2	23,5	491,1	318,8	-	0,4	82,6	88,5	15,0	3,2	3,9
10	Одесская	4,4	0,1	4,4	2,0	-	-	1,1	1,2	-	-	-
11	Полтавская	37,2	1,3	30,5	3,3	0,1	-	19,1	7,8	3,6	0,3	2,8
12	Ровненская	390,4	19,5	326,3	180,5	5,6	0,7	69,3	64,9	34,2	1,6	28,3
13	Сумская	106,6	4,5	97,0	31,6	-	0,2	49,1	16,0	4,0	0,6	5,0
14	Тернопольская	165,6	12,0	164,2	131,7	3,1	-	8,2	20,6	0,1	-	1,3
15	Харьковская	11,8	0,4	11,8	0,6	-	-	9,3	1,9	-	-	-
16	Хмельницкая	117,5	5,7	116,4	89,7	-	0,1	15,0	11,3	0,5	-	0,6
17	Черкасская	55,7	2,7	45,1	14,5	0,1	0,5	19,7	9,9	7,1	0,3	3,2
18	Черновицкая	121,8	15,0	121,1	113,0	-	0,3	2,7	4,7	-	-	0,7
19	Черниговская	300,0	9,4	272,4	99,2	6,2	0,2	94,9	71,4	15,1	0,4	12,1
	Всего:	3307,4	5,5	3002,0	1818,3	51,5	8,1	567,1	517,4	189,5	9,7	107,2

Эффективность проведения осушительных мелиораций определяется урожайностью основных сельскохозяйственных культур на освоенных землях. На осушенных землях, которые в 1990 г. составляли 28,7 % площади сельскохозяйственных угодий, было произведено в денежном выражении 18,6 % продукции растениеводства, а в натуральных показателях: 23,2 % зерна, 41,3 % льноволокна, 26,5 % овощей, 21,5 % картофеля, 27,3 % кормовых корнеплодов, 12,0 % многолетних трав. Ощутимым недостатком осушительной мелиорации в этот период было недостаточное проектирование и строительство мелиоративных систем с двусторонним регулированием водно-воздушного режима почв (20,4 % от площади всех мелиоративных систем), проведение в недостаточных объемах агротехнических мероприятий, дополняющих действие осушительных систем (глубокое рыхление, щелевание, кротование, известкование кислых почв). Начиная с 90-х годов XX века в связи с недостаточными объемами финансирования и изменениями отношения к осушительной мелиорации приостановилось строительство новых осушительных систем, уход за существующими и их модернизация, что обусловило ухудшение кислотно-щелочного баланса (рН) водно-физических свойств почв, развитие целого ряда деградационных процессов [27].

Значительная часть осушенных земель (до 10 %) претерпела радиоактивное загрязнение, а площадь обработанных торфяников достигла 105 тыс. га. По данным Госводхоза, из всей площади осушенных земель Украины в хорошем мелиоративном состоянии находятся 61,1 %, удовлетворительном – 33,1 %, в неудовлетворительном – 5,8 %. Около 800 тыс. га осушенных земель не освоено и используются как сенокосы и пастбища с урожайностью сена не выше 15–20 ц/га. Коэффициент использования многих массивов осушенных земель снизился до 0,4–0,7. Это обусловлено не только

общим экономическим кризисом, но и выходом из строя дренажных систем из-за отсутствия средств на их своевременный технический ремонт и реконструкцию.

С начала проведения работ началась дискуссия: возможно или невозможно осушить избыточно увлажненные земли, вообще выгодно ли осушение, как оно повлияет на социальные условия и окружающую окружающую среду?

Были ли недостатки в проведении мелиорации? Ученые считают, что ошибкой было осушение не по бассейновому принципу, а мелиорация отдельных участков.

Широкомасштабные мелиоративные работы нарушили постоянное равновесие в экологической системе. Факторы, способствовавшие интенсивным процессам самоочищения, характерные ранее для Полесья, в наше время или ликвидированы, или их значение нивелировано новыми процессами, которые усилили загрязнение вод. Интенсивная мелиорация с глубоким дренажем, спрямление речных русел и тому подобное привели к быстрому осушению пойменных лугов, болот и негативно повлияли на прилегающие угодья. Произошло резкое нарушение естественных путей развития поймы – ее антропогенное разрушение. Теперь на поймах созданы крупные поля монокультур; дренирование и вспашка ликвидировали во многих местах высокоценные и переувлажненные луга, высохли многочисленные пойменные водоемы, резко понизился уровень грунтовых вод. Изменения оказались губительными как для экосистемы в целом, так и для ее составляющих, в том числе рыб и всех видов водно-болотного охотничьего комплекса. Еще одним просчетом стало спрямление русел рек, в результате чего изменились условия прохождения паводка. В дальнейшем мелиораторы не только на Полесье, но и в других районах Украины ни в коем случае не должны нарушать экологическое равновесие, обязаны проводить свои работы с учетом его требований.

Для этого нужно:

- осуществлять мелиорацию мозаично, не допуская создания крупных сплошных осушенных площадей. В том случае, когда чередуются осушенные и сохраненные болотные массивы, вполне возможным будет поддерживать уровень грунтовых вод на характерном для данной территории горизонте и стабилизировать существующие биоценозы;

- поймы рек желательнее не мелиорировать, а использовать под сенокосы и места выпаса скота. В тех случаях, когда пойма осушается, необходимо сохранять вдоль русел рек нетронутые лугово-болотные полосы;

- спрямление и канализация рек должны быть запрещены;

- избегать чрезмерной мелиоративной деятельности, которая не находит сейчас выхода на сельскохозяйственное производство;

- обязательно вдоль русел рек и по периферии болот предусматривать водоохранные зоны, где вспашку и мелиорации следует категорически запретить;

- прекратить распашку склонов речных долин и болот, чтобы не допустить развития эрозии и выноса твердого стока в реку;

- сохранять заповедные территории и участки рек с ненарушенным природным режимом, руководствуясь комплексом физико-географических и гидробиологических показателей при их выборе;

- в борьбе с эвтрофированием водоемов, которое происходит под влиянием как мелиоративных работ, так и бытовых загрязнений, необходимо усилить меры по предупреждению поступления загрязненных вод с урбанизированных территорий в реки;

- избегать зарегулирования малых рек водохранилищами.

Был ли оправдан мелиоративный бум с современной точки зрения? Не стоит утверждать, что мелиорация имела лишь негативные последствия. Многолетний опыт использования мелиорированных земель показывает, что без мелиорации на этих землях получали 8–9 центнеров зерновых и 60 центнеров картофеля с гектара, а осушение значительно улучшило условия использования сельскохозяйственных угодий. Урожайность сельскохозяйственных культур выросла до 30 центнеров зерновых, а картофеля – до 150 центнеров с гектара. Но при этом для получения устойчивых урожаев также нужно постоянно поддерживать требования агротехники: вносить удобрения, придерживаться системы севооборотов, то есть определенной системы обработки почвы. Если этого не придерживаются, урожайность резко падает, и мелиорация здесь не является определяющим фактором.

Государство передало аграриям бесплатно землю, но при передаче земель почему-то забыло, что там есть инженерные сооружения, и только потом на уровне областей хотели это наверстать. Мировой опыт свидетельствует: если не проводить очистку каналов, они будут зарастать, что сейчас наблюдается во внутрихозяйственных системах. Нужно, чтобы на законодательном уровне была принята норма, согласно которой владелец земли должен взять обязательство поддерживать плодородие почвы не ниже того, которое он получил. Землевладелец должен знать, что через несколько лет сни-

жение почвенного плодородия в первую очередь почувствует лично он. Значит, нужно поддерживать в надлежащем состоянии мелиоративные каналы. Современное неутешительное агроэкологическое состояние осушенных земель требует разработки и внедрения мероприятий по его улучшению, которые должны иметь профилактический, тактический и перспективный характер [27, 32].

К профилактическим мероприятиям следует отнести:

- тщательную экологическую экспертизу проектов реконструкции и модернизации гидромелиоративных систем, и особенно нового строительства;
- проведение детальной инвентаризации объектов осушительных мелиораций, глубокий анализ причин ухудшения агроэкологического состояния осушенных гидроморфных земель, в том числе кризисного;
- постоянный технический контроль за режимом функционирования дренажных систем и систем водорегулирования;
- запрещение использования заранее известных экологически опасных технологий химической, культуртехнической, других видов мелиораций и выращивания сельскохозяйственных культур.

К тактическим мерам относятся:

- установление, обоснование и реализация наиболее рациональных направлений использования осушенных земель, прежде всего деградированных и низкой категории качества;
- своевременная коррекция системы удобрения, обработки и севооборота на основе постоянно действующего мониторинга осушенных почв;
- внедрение и переход на энерго- и ресурсосберегающие технологии воспроизводства плодородия почв.

Перспективными мерами, которые рассчитаны на долгосрочный период, являются:

- разработка долгосрочной программы водных, химических, фитобиологических и других мелиораций гидроморфных земель с целью постепенной трансформации их в земли высокой категории качества, создание стабильного продовольственного фонда Украины;
- реконструкция (модернизация) гидромелиоративных сетей во влажных регионах Украины и переход на новые высококачественные, экологически надежные и ресурсосберегающие системы;
- выбор обоснованных направлений использования и специализации растениеводства на осушенных землях;
- совершенствование и реализация структуры земельных угодий: пашни, пастбищ, сенокосов, многолетних насаждений, создание буферных природоохранных полос, ренатурализации земель кризисного состояния, создание устойчивых агроландшафтов;
- совершенствование хозяйствования на осушенных землях, передача их в частную собственность, установление цен и создание капитала земель мелиоративного фонда, режима его воспроизводства и увеличения.

Таким образом, повышение роли осушаемых земель в обеспечении устойчивого производства сельскохозяйственной продукции независимо от природно-климатических условий, создание надежной кормовой базы для животноводства и в целом – обеспечение продовольственной безопасности страны остается в Украине проблемой государственного значения.

Как сегодня, так и на ближайшую перспективу не потеряли актуальности концептуальные подходы к мелиорации земель в Украинском Полесье, сформированные академиком П. И. Коваленко в 2007 г. [36]. Они содержат основные моменты, связанные с изменением социально-экономических, климатических, конструктивно-технологических и экологических условий реализации осушительных мелиораций в Полесском регионе.

В условиях реформирования аграрного сектора и приватизации мелиорированных земель коренным образом изменились категории землевладельцев, разрушены сложившиеся традиционные схемы управления мелиоративными системами, агротехнологии, производственные и экономические взаимосвязи между участниками сельскохозяйственного производства, а главное – изменилась государственная финансовая политика.

В связи с этим и с учетом реальных требований реформированного аграрного сектора основными научными приоритетами в зоне избыточного увлажнения в ближайший период являются разработка концептуальных научных основ стратегии комплексного управления водно-земельными ресурсами, эффективного использования природного агроресурсного потенциала, создание устойчивых и экологически уравновешенных агроэкосистем, нормирования антропогенной нагрузки на эти системы, а также восстановление плодородия мелиорированных почв.

Направления использования мелиорированных земель в дальнейшем будут определять рынок и структурные изменения в сельскохозяйственном производстве, приватизации и персонификации зем-

ли. Новый подход к сельскохозяйственному использованию осушаемых минеральных и торфяных почв заключается в максимальном задействовании биоклиматического агроресурсного потенциала гумидной зоны, технических возможностей мелиоративных систем, направлений и способов водорегулирования, а также сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, направленных на получение качественной и конкурентоспособной продукции и восстановлении плодородия почв при соблюдении экологических требований к мелиоративным объектам. Он направлен также на наиболее удачный поиск в рамках правового поля распределения мелиорированных земель между собственниками, поэтому нужен качественно новый подход к эксплуатации мелиоративных систем зоны Полесья, особенно в отношении эффективного функционирования внутривладельческой сети.

Независимо от форм собственности на землю мелиорированные почвы должны использоваться в зоне Полесья прежде всего под кормовые и зерновые культуры, а вокруг крупных городов и промышленных центров – под кормовые и овощные. Это научно обосновано и подтверждено многолетней практикой. Здесь явное преимущество предоставляется многолетним травам, которые в зоне Полесья должны занимать 65–70 %, в пригородных хозяйствах – 80–85 %. Конкретное соотношение должно корректироваться в зависимости от видов почв, степени осушения и минерализации торфа, площади осушаемых земель в хозяйстве и т. п.

Технология освоения и сельскохозяйственного использования осушаемых почв в определенной мере отработана, однако в последние годы в результате кризисного состояния в сельском хозяйстве внимание к использованию мелиорированных земель снизилось, часто игнорируются отдельные элементы технологии их высокопроизводительного использования. Одной из причин такого положения является фактическое состояние внутривладельческой сети. Во многих случаях оно не отвечает требованиям надежного управления водным режимом, экологической безопасности при интенсивном ведении сельского хозяйства.

Освоение и сельскохозяйственное использование осушаемых земель нельзя рассматривать в отрыве от технического ухода за мелиоративной системой, особенно ее внутривладельческой сетью. Это должно быть единым целым.

В современных условиях мелиоративное земледелие должно базироваться исключительно на биолого-экологической и экономической основе, а именно путем внедрения:

- ресурсосберегающих систем обработки почв, включая агромелиоративные мероприятия;
- систем севооборотов (с обязательным насыщением их бобовыми) с целью ограничения применения азотных минеральных удобрений.

Такой комплекс должен обеспечить поступление и накопление в почве органического вещества до уровня, который обеспечивает бездефицитный или положительный баланс гумуса.

В условиях реформирования аграрного сектора и приватизации мелиорированных земель возникает настоятельная необходимость в разработке теоретических основ комплексной реконструкции и модернизации действующих мелиоративных систем, ресурсосберегающих технологий эффективного использования природного потенциала мелиорированных земель, нормативной базы экологического нормирования антропогенной нагрузки на локальные мелиорированные агроландшафты, создания мелиоративных систем нового поколения, адаптированных к конкретным природным условиям и современным требованиям землепользователя, а также технических средств для их обеспечения.

Идеология реконструкции мелиоративных систем должна базироваться на таких принципах:

- создание новейших конструкций мелиоративных систем блочно-модульного типа, адаптированных к конкретным природным условиям и требованиям землепользования;
- создание ресурсосберегающих технологий водорегулирования, конструкций мелиоративных систем с двусторонним регулированием водного режима и технических средств управления технологическими процессами, которые позволят получить экономический эффект в первые годы после их внедрения;
- обеспечение рационального использования водных и земельных ресурсов, восстановление и повышение плодородия почв;
- обеспечение экологического равновесия на мелиорированных территориях, в бассейнах рек и водотоков в зонах влияния мелиоративных систем, предотвращение возникновения негативных последствий, прежде всего таких, как ветровая и водная эрозия почв, загрязнение водных ресурсов;
- усиление системы государственного контроля за использованием мелиорированных земель и создание программы государственного поощрения внедрения новых систем мелиоративного земледелия, рациональных агротехнических и агромелиоративных мероприятий;
- уменьшение площадей использования переувлажненных земель за счет частичной их ренатурализации, временной консервации малопродуктивных угодий, обновления структуры угодий с при-

оритетным расширением кормовых севооборотов, сенокосов и пастбищ во взаимосвязи с новыми формами хозяйствования;

– внедрение научно обоснованных технологий восстановления и сельскохозяйственного использования радиационно загрязненных территорий;

– учет изменений земельных отношений, форм хозяйствования, особенностей по временному землеустройству в зоне расположения мелиоративных систем, технологических условий их эксплуатации и баланса интересов землепользователей и водохозяйственных организаций;

– ограниченность сроков проведения работ по реконструкции, минимизации капитальных затрат, максимального использования дееспособных элементов действующей мелиоративной системы.

Для правовой поддержки высокопроизводительного использования мелиорированных земель в зоне избыточного увлажнения необходимо разработать ряд нормативных документов, а именно:

– порядок использования осушаемых земель и мелиоративных фондов внутрихозяйственных систем;

– порядок финансирования расходов на техническое обслуживание внутрихозяйственных систем;

– правила натурных обследований, паспортизации, оценки технического состояния мелиоративных систем и экологического состояния мелиорированных агроландшафтов, определение объемов ренатурализации мелиорированных земель;

– методику нормирования антропогенных нагрузок на мелиорированные агроландшафты в бассейнах малых рек-водоприемников;

– нормативы оценки технического состояния мелиоративных систем и т. п.

Реализация таких подходов позволит обеспечить дальнейшее развитие такого уникального во всех отношениях региона, которым является Украинское Полесье, с учетом современных социально-экономических и экологических требований.

Литература

1. Поспелов Е. М. Географические названия мира : топонимический словарь. – М.: АСТ, 2001. – 512 с.
2. Словарь современных географических названий / под общ. ред. В. М. Котлякова. – Екатеринбург: У-Фактория, 2006.
3. Климчук Ф. Д. Географическая проекция внутренней формы названия «Полесье» // Региональные особенности восточнославянских языков, литератур, фольклора и методы их изучения : тез. докл. и сообщ. III республ. конф. – Ч. I. – Гомель, 1985. – С. 93–96.
4. Кривіцкі А. А. Назва Полессе – своя ці чужая? // Роднае слова. – 1997. – № 8. – С. 3–43.
5. Катонина Е. М. Балто-славянские контакты и проблема этимологии гидронимов // Проблемы этногенеза и этнической истории балтов : тез. докл. – Вильнюс, 1981. – С. 96–98.
6. Клімчук Ф. Д. Феномен Полесся // Загароддзе-1 : матэрыялы Міждысцыплінарнага навуковага семінара па пытаннях даследавання Полесся (Мінск, 19 верасня 1997 г.). – Мінск, 1999. – С. 5–9.
7. http://vodospad.com/articles/beautiful-places/podsnezhniki_11032015.html
8. Национальный парк «Припятский» Официальный сайт национального парка «Припятский».
9. Пирожник И. И., Аношко В. С., Кот С. И. Дорогами дружбы: Белорусское и Украинское Полесье. – Минск: Польша, 1985. – 207 с.
10. Климчук Ф. Д. Некоторые дискуссионные вопросы средневековой истории Надьясельдья и Погорыня // Palaeoslavica. – Cambridge-Massachusetts, 2004. – Вып. XII. – № 1. – С. 5–28.
11. Мороз М. А., Чаквин И. В. Полесье как историко-этнографическая область, её локализация и границы // Полесье. Материальная культура. – Киев, 1988. – С. 40.
12. Ландшафты Белоруссии / под ред. Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клицуновой. – Минск: Университетское, 1989.
13. Природа Белоруссии. Популярная энциклопедия. – Минск: БелЭн, 1986.
14. Фізична географія Української РСР / О. М. Маринич [та ін.] . – Київ: Вища школа, 1982. – 208 с.
15. Географічна енциклопедія України : у 3 т. / редколегія: О. М. Маринич (відпов. ред.) [та ін.] – Київ: Українська радянська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1989.
16. Заставний Ф. Д. Географія України. – Львів: Світ, 1990.
17. Поліський ландшафтний край. – URL: http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/fizichna_geografija_ukrajini/poliskij_landshaftnij_kraj/39-1-0-544
18. Туристический путеводитель по Люблинскому воеводству. – URL: www.polska.ru/turystyka/miasta/województwa/lubelskie.html
19. Полесская экологическая конвенция – гносеологическая парадигма становления / В. В. Конішук, Т. Л. Андрієнко, О. І. Бондар [та ін.]. Розділ III // Екологія. – 2012. – № 9. – С. 289–293.
20. Полесье. Материальная культура / В. К. Бондарчик, И. Н. Браим, Н. И. Бураковская [и др.] ; отв. ред. В. К. Бондарчик, Р. Ф. Кирчив ; АН УССР. Львов. отд-е Ин-та искусствоведения, фольклора и этнографии им. М. Ф. Рильского. – Киев: Наук. думка, 1988. – 448 с.

21. Подлужный П. Из истории осушения Полесья // Драгічынскі веснік. – 04.06.2010. – URL: <http://www.drogichin.by/novosti/iz-istorii-osusheniya-polesya/>
22. Большой энциклопедический словарь Брокгауза Ф.А., Ефрона. И.А. СПб., 1892. – URL: <http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/007/121/>
23. Жилинский И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898). – СПб.: Изд-во М-ва земледелия и гос. имуществ, 1899.
24. Трохи про Полісся і Волинь. – URL: http://hronosua.blogspot.com/2013/02/blog-post_7831.html
25. Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 303 с.
26. Козловський Б. І. Наукові основи моніторингу осушених земель. – Львів: Місіонер, 1995. – 189 с.
27. Паньків З. П. Земельні ресурси : навчальний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 272 с.
28. Значение дренажа в повышении плодородия почв / В. А. Ковда [и др.]. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 83 с.
29. Шерстобоев Н. Я. К истории осушения земель закрытым дренажем в СССР // Гидротехника и мелиорация. – 1962. – № 3–4
30. Шерстобоев Н. Я. К истории отечественной гидротехники и мелиорации // Гидротехника и мелиорация. – 1951. – № 9. – С. 67–79.
31. Янголь А. М. Двухстороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 136 с.
32. Шкинчис Ц. Н., Смигли Х. А., Туманс В. В. Вопросы дополнительного увлажнения почв в условиях Латвийской ССР // Гидротехника и мелиорация в Латвийской ССР. – Т. 13. – Елгава, 1969. – С. 3–38.
33. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я. Осушительно-увлажнительные системы. – М.: Колос, 1981. – 280 с.
34. Перехрест С. М. Меліорація надмірно зволужених мінеральних земель України. – Київ: Наукова думка, 1966. – 129 с.
35. Земельні ресурси України / за ред. В. В. Медведєва, Т. М. Лактіонової. – Київ: Аграрна наука, 1998. – 150 с.
36. Коваленко П. И. Концептуальные подходы к мелиорации земель в Украинском Полесье // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2. – С. 6–16.

Глава 2. СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БОЛОТ, ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ И ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ И ЛЕСОСТЕПИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, СОХРАНЕНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА

2.1. Природные и антропогенные условия и факторы формирования почвенного покрова Северо-Западного региона Украины

Прежде чем перейти к изложению основных положений параграфа, нужно напомнить истины, которые я и мои коллеги усвоили, будучи еще студентами Львовского сельскохозяйственного института, обучаясь у профессоров А. Андрущенко, М. Л. Гоголева, С. Кияка, В. С. Старостина, В. Ф. Третьякова, Р. И. Ладожинского, М. А. Ясинского и др. Мы им за это благодарны. За то, что можно использовать эти знания и сейчас. Позже они были закреплены и развиты за время обучения и работы в школе почвоведов: Харьковском сельскохозяйственном институте им. В. В. Докучаева, в нынешнем Национальном научном центре «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского».

Задачей сельскохозяйственного производства, и в частности его основного цеха – земледелия, было, есть и будет получение высоких, стабильных, оправданных с точки зрения экономики, хорошего качества, экологически здоровых урожаев.

Их получение по организации, технологии является более сложным, чем промышленное производство, поскольку имеет дело с такими факторами и условиями, как почва, живые организмы (растения), и, самое главное, формируется в основном под открытым небом, то есть зависит от погоды.

Самым главным свойством почвы выступает ее плодородие – способность удовлетворять потребности растений не только в питательных веществах и воде, но и в важной для культурных растений температуре, объеме для корней, при отсутствии вредных, токсичных для растений соединений.

Плодородие почвы и урожай – понятия не тождественные. Можно иметь плодородные почвы и не получать надлежащих урожаев, так как факторами и условиями урожая являются, в свою очередь, почва, живое растение, организация производства. Можно вырастить и не собрать его.

Климат, влияние его на урожай и по сей день мы можем только уменьшить, и то опосредованно: регулированием водно-воздушного режима почвы, агротехникой, гидротехническими, тепловыми и другими приемами мелиорации, которые должны применяться в комплексе. Исключительным прогрессом в получении высоких устойчивых урожаев был бы надежный прогноз погоды. По сборной работе «Горизонты науки и техники», изданной на английском языке в 1969 г., среди выдающихся открытий человечества до 2000 года должна быть разработка методов надежного прогноза погоды. Но его и до сих пор нет. Правда, число грубых ошибок в прогнозировании погоды уменьшилось, но они остаются вероятностными даже на кратчайшие периоды. Мы далеки от того, чтобы управлять погодой, и целесообразно ли это вообще? Так что у нас один путь – приспособливаться к ней.

Развивая науку химии, физики, почвоведения, растениеводства, прикладной математики, метеорологии, используя спутники Земли и другие достижения, ученые пытались и пытаются выявить определенные зависимости между почвой, растением, погодой, руководствуясь которыми можно было бы управлять процессами получения урожая, прогнозировать и программировать их.

Уравнение Митчерлиха, законы минимума, оптимума, максимума, современные уравнения – зависимости между нужными для отдельных культурных растений, семейств, видов, суммами положительных температур за вегетационный период, влагозапасы почвы и воздуха есть еще только ориентиры с большими погрешностями и коэффициентами, которые все-таки позволяют корректировать направления, географию и набор сельскохозяйственных культур.

Некоторые научные авторитеты даже отрицают реальность установления таких зависимостей, их высокую надежность в практическом использовании. Но, принимая во внимание их современный уровень, нужно обратить внимание на те почвенно-гидрологические аспекты Западного региона, которые обязательно необходимо учитывать при прогнозировании, разработке и применении мер повышения эффективности земледелия в регионе при реформировании АПК.

Почвенный покров низинной части Западного и Малого Полесья, особенно Прикарпатья, в большей части Приднестровской низменности, в основном представлен дерново-подзолистыми почвами (в пределах Волынской, Ровенской, Львовской, Ивано-Франковской областей) и часто характеризуется неблагоприятными по отношению к выращиваемым растениям водно-физическими свойствами: низкой фильтрационной способностью, почти полным отсутствием агрономически ценной

структуры, подверженностью заплыванию и образованию корки, что является следствием гранулометрического, литологического, химического их состава, а также катионов поглотительного почвенного комплекса (низкая насыщенность основаниями, в частности кальцием, наличие алюминия, закиси железа). Отсюда – достаточно выраженная кислая реакция.

Еще одной характерной особенностью почвенного покрова здесь является значительное частичное заболачивание. И не потому, что в отдельные годы выпадает избыточное количество осадков, а обусловлено оно их периодичностью и перераспределением по элементам рельефа. В понижения со склонов Волынского-Подольской возвышенности, в Прикарпатье и Закарпатье чрезмерно поступает поверхностный сток.

Низкая дренированность и наличие в профиле дерново-подзолистых почв плотного иллювиального горизонта является своеобразным водоупором, который сдерживает переход поверхностного стока во внутрипочвенный. Поэтому земледелие в этой зоне, на таких почвах должно обязательно вестись на фоне регулируемого водно-воздушного режима. Но он лишь фон для наложения комплекса – агротехнических, химических, тепловых и других приемов мелиорации.

Говоря об эффективности и необходимости орошения на Юге Украины, надо помнить о том, что в водорегулировании нуждаются и почвы в западных областях Украины. Причем речь должна идти не только об осушении, но и о двойном регулировании водно-воздушного режима этих почв. Такие системы есть в немногих местах (Трубеж, Смолянка), а в большинстве остальных из-за высокой стоимости они одностороннего действия. В аналогичных условиях Северо-Западной Европы до 50 % земельных угодий гидротехнически мелиорированы.

В лесостепной части Волынской, Ровенской, Львовской, Тернопольской областей преобладающими по площадям являются серые лесные почвы, малогумусные черноземы (рендзины, луговые почвы – одни из лучших). Однако они имеют выраженные признаки средней, а то и сильной эродированности, на склонах – сухие, мало содержат питательных для растений веществ, в частности азота, и требуют перевода поверхностного стока во внутрипочвенный.

Отдельными являются почвы равнинной части Закарпатья. Трудно переоценить их в отношении роли лесного покрова. По условиям увлажнения, температурного фактора – это отдельная провинция. Но, опять же, переувлажнение, кислотность, оглеенность, бедность на элементы питания растений – здесь также имеют место.

О почвах Украинских Карпат как сельскохозяйственных угодьях следует говорить отдельно как об объекте лесоводов. Вред, который могут наносить этим почвам бессистемные вырубki, несоблюдение лесосек, особенно при дорогах, все так же дает о себе знать и сегодня в известных проявлениях стихии.

Если суммировать свойства почвенного покрова Северо-Западного региона (СЗР) относительно естественного плодородия его почв, то по проведенной экономической оценке, выполненной в свое время Институтом «Укрземпроект», по средней урожайности зерновых культур уровень их естественного плодородия по каждой из административных областей западного региона по сравнению со средней по Украине, взятой за 100 %, такой: в Волынской области – 75 %, Ровенской – 74 %, Львовской – 73 %, Ивано-Франковской – 88 %, Черновицкой – 99 %, Закарпатской – 77 %. Эти уровни следствие низкой влагоемкости, неудовлетворительных физических и физико-химических свойств почв.

В Северо-Западном регионе годовое количество осадков составляет от 600 (на севере) до 800 мм в Прикарпатье. Такое количество атмосферной влаги достаточно для выращивания даже наиболее требовательных к увлажнению почвы сельскохозяйственных культур. И в то же время ее нельзя считать избыточной (хотя часто имеет место и заболачивание).

Температуре как элементу климата принадлежит роль одного из ведущих факторов вегетации и урожайности выращиваемых растений. В условиях СЗР среднегодовые значения ее около + 6–7 °С, на юге + 8–9 °С, а сумма годовых температур за 10 месяцев также достаточна: от 1700–2000 на севере, до 3000 – на юге зоны; причем не только для растениеводства, но и для садоводства, огородничества.

На сегодня к использованию практиками наукой просчитаны зависимости, уравнения, биоклиматические показатели почти для каждой из ведущих сельскохозяйственных культур, выращиваемых в регионе. Эти разработки служат основанием для изменений в географии площадей отдельных из них. По ним изучены и районированные сорта. Но даже за год перед перестройкой сельского хозяйства, а именно в 1989–1990 гг., урожайность по региону хотя и составила 25–30 ц зерновых с гектара, была значительно меньшей, чем получаемая почти при таких же климатических условиях в Голландии – 76 ц (в 1997 г.) и даже в Польше (до 40 ц/га); сейчас уровень урожайности в СЗР в среднем приближается к 29–30 ц/га. Можно объяснять недоборы урожаев здесь условиями перезимовки, переувлажнением, иногда засухой, но есть факторы, которые действуют на урожай стабильно.

Немецкие специалисты подсчитали, что с 1950 по 1988 год урожай зерновых в Германии вырос с 26 до 67 ц/га. Это произошло за счет подбора сортов, обработки почвы (+100 кг/га), применения удобрений (+ 70 кг/га), гербицидов (+ 50 кг/га), фунгицидов (+ 12 кг/га), регуляторов роста (+ 7 кг/га). Об этом свидетельствуют и урожаи в наше время на инвестированных (иностранном капиталом) площадях (СЗР Украины). Если в 1930-х годах урожайность зерновых в Европе была только 20 ц/га, то в 1970–1980 гг. она достигла 60–70 ц/га. Для этого в 1986 г. под зерновые культуры внесены на гектар NPK: в Англии – 147 кг, во Франции – 189 кг, Германии – 266 кг, Голландии – 346 кг. В Украине тогда под зерновые вносилось до 120 кг NPK, и урожай был до 36 ц/га.

Интересные данные по 1995–1996 гг. приводят наши соседи в Польше: на одного жителя количество азотных удобрений составляет: во Франции – 118 кг, Германии – 55 кг, России – 37 кг, в Украине – 45 кг. Еще хуже обстоит дело с фосфорными удобрениями: Франция – 39 кг, Польша – 9,5 кг, Украина – 7,4 кг, Болгария – 1,3 кг. А разработка местных фосфоритов тормозится, например в Здолбуновском, Острожском районах Ровенской области опять же из-за возможного ухудшения экологических условий. Фосфориты наиболее подходят к почвам СЗР и как удобрение, и как мелиорант.

Документированная статистика урожаев в Европе ведется давно. Графически во времени ее динамика выглядит как двубоко-зубчатая пила. При четко выраженной прогрессивно возрастающей урожайности по годам имеют место пики и провалы, которые являются свидетельством влияния на урожай погодных условий; 15 % лет с засухой или переувлажнением имеет место и в Северо-Западном регионе Украины.

Сколько нужно земли (пахотной) на одного человека? Это зависит от того, что на ней выращивать. Безземелье – традиционная черта Северо-Западного региона. Отсюда – повесть «Земля» Ольги Кобылянской. Эмиграция за границу была последствием малоземелья в те времена и низкого уровня плодородия почв, уровня использования их потенциальных и создаваемых человеком возможностей.

Мы в Украине почти пришли к новым земельным отношениям. Те, кто производит больше, – экспортируют продукцию. Нас запугивают экологической катастрофой, когда из-за химизации сельского хозяйства мы далеки от нее. Более того, нас призывают к сокращению пашни на 5–7 млн га, к ренатурализации мелиорированных земель.

В Западном регионе по климатическим и почвенным режимам есть все возможности для развития животноводства, в том числе за счет культурных пастбищ на мелиорированных (бывших переувлажненных) землях. КСП Зинчука в Гошанском районе Ровенской области выживает в основном благодаря этому. Но вместе с тем нужно поднять и урожайность до европейского уровня на всех землях, которые будут в обработке.

Как показали наши с Т. А. Гринченко опыты на Ровенской государственной сельскохозяйственной опытной станции, а также на дерново-подзолистых мелиорированных почвах Львовской, Черновицкой областей (по Т. И. Назаренко), внесение до 40 т/га органических удобрений вместе с минеральными по известкованному фону обеспечивает не менее 50 ц/га зерна пшеницы, 450 ц/га сахарной свеклы. Это уже близко к европейским странам.

Мы с нетерпением ожидали и ждем окончания разработки и принятия законодательной базы реформирования АПК. Есть Указ Президента Украины. Это хорошо. Но со сменой хозяина земли и хозяйствования на ней происходит изменение структуры посевных площадей, набора выращиваемых культур в соответствии с требованиями рынка, а не почвенно-климатическими, гидрологическими условиями. Как быть с севооборотами (кое-кто их уже назвал «динозаврами»). Кроме того, существует проблема загрязнения территорий в результате аварии на ЧАЭС. Нужны комплексные меры, мелиоранты-адсорбенты радионуклидов. Как и кому их внедрять? Поэтому назрела задача расширения и совершенствования научно-консультационного обслуживания всех форм хозяйствования на землях в новых условиях – актуальное наряду с другими, не менее важными мероприятиями.

Сколько раз в Верховной Раде Украины академик Юхновский говорил о необходимости проведения налоговой реформы на основе бонитета, кадастровой оценки земель? Дело не движется с места ... А это и есть экономическая, и агроэкологическая оценка земель «в действии».

Профессиональная подготовка пользователей земель на низших ступенях – неотложная задача. Никто в США, например, не выдает лицензии на хозяйствование на земле без наличия у пользователя специального образования.

По нашему мнению, желаемые изменения в реформировании АПК очень нужны. Они должны осуществляться обдуманно, постепенно и на базе научных рекомендаций при учете природно-экологических условий каждого региона.

В Западном регионе Украины есть достаточно научных учреждений, а у них – разработок. Наша задача – помочь использовать их в реформированном АПК.

В экологическом же плане дела с гидротехническими мелиорациями еще сложнее. И не потому, что технологии осушительных мелиораций были недостаточно подготовлены наукой, а потому, что с тех генеральных схем, разработанных отраслевыми проектными институтами вместе с НАН Украины, Беларуси, в натуре не все переносилось на поля. И, как следствие, системы часто не справляются с выполнением функций, которые на них возложены, а именно двойного регулирования влажности почвы осушением – подземным орошением.

Чтобы осушительная система не только выполняла функцию отвода лишней влаги, но и обеспечивала подачу ее в обратном направлении, играла роль двойного регулирования водно-воздушного режима почвы, нужны водоемы – накопители воды. Но, за небольшим исключением, они не строились. И дело не только в средствах, но и в ошибочных решениях, компрометирующих саму идею.

Почему-то так повелось, что при слове «мелиорация» рядовой гражданин видит только осушение или орошение. На самом деле это должно быть регулирование не только водно-воздушного, но и питательного для растений режима, температурных условий почвы, обработки, удобрения, сортов растений, севооборотов.

Категоричность суждений не всегда была и есть лучшим доказательством ее правильности. Но, учитывая мировой опыт, можно утверждать: мелиорации земель в комплексном их осуществлении были, есть и будут в соответствующих объемах и при высоком обосновании необходимости и качестве выполнения надежным путем обеспечения плодородия почв и продуктивного ведения на них земледелия.

Конечно, мелиорация земель, в том числе осушительно-увлажняющая, это вмешательство человека во взаимоотношения между водой, почвой, растительностью, животным миром и даже гидросферой (хотя ее влияние территориально распространяется не более 1–2 км от мелиорированных полей). Другое дело – влияние ее на величину и режим стока рек, на подземные воды. Об этом речь должна вестись отдельно. В конце концов, никогда, нигде и никем не поднимался вопрос об осушении всех площадей, до единого гектара, на Полесье, в Лесостепи СЗР Украины, где действительно есть потребность сохранения эдафической растительности, животного мира. Для этого должны быть созданы и эффективно функционировать заповедные территории.

Настоящее издание предлагается читателям, ученым, практикам, студентам, которые работают и в будущем посвятят свою деятельность проблеме познания свойств, учету экологической и энергетической роли, использованию и сохранению для будущих поколений таких природных комплексов, которыми являются болота, торфяники, их регуляционным и экологическим функциям.

К 1985 г. в бывшем Советском Союзе на одного жителя приходилось 0,86 га пахотных земель, в Украине – 0,50 га, а в Северо-Западном регионе Украины – 0,25 га. Поэтому необходимость рационального земледельческого и энергетического освоения болот, торфяников и почв СЗР Украины остается актуальной и в наше время. Интенсивность их использования, как известно, можно увеличивать двумя путями: расширением площадей и усовершенствованием технологий использования. К сожалению, первому пути было отдано предпочтение, и по состоянию на 1954 г. площади мелиорированных земель в Украине составляли более 2600 тыс. га, а добыча и использование для различных нужд торфа, преимущественно как энергетического ресурса, составляло 9 тыс. га.

Если говорить об уровне земледельческого использования гидротехнически-мелиорированных земель, в том числе торфяных, то его удалось поднять до 30–40 ц/га, тогда как в странах с подобными почвенно-экологическими условиями Северо-Западной Европы (от Голландии до Финляндии) его уровень доведен до 60–70 ц/га. Прежде всего это стало возможным благодаря тому, что на землях с гидротехнически-регулируемым водно-воздушным режимом подбирались соответствующие виды и сорта растений, удобрения, уход.

Мелиорация – это улучшение. Но случилось так, что она, особенно в перестроечные времена, начала терять престиж как надежное условие повышения уровня урожайности, в первую очередь из-за запущенности ухода за системами и вторичного заболачивания земель. Соблюдение рационального соотношения: вода – почва – растение – атмосфера – залог восстановления престижа и необходимости мелиорации.

К большому сожалению, без должного внимания ученых, и особенно практиков, остаются еще в СЗР Украины такие перспективные вопросы, как использование выгоревших и выработанных торфяников, их регенерация, пескование и глинование торфяных почв как метод окультуривания, поддержания здоровых экологических отношений. Ученые НУВХП вместе с отечественными практиками-пользователями сотрудничают с зарубежными специалистами с целью восстановления, поддержания и сохранения здоровых отношений между природой и человеком.

2.2. Болотно-торфяные ресурсы и их эколого-демографическая роль

Болота, их составляющие – торфяники и торфяные почвы как объекты использования – наиболее уязвимы и относятся к альтернативно-восстанавливаемым природным ресурсам. Как и другие ресурсы, они требуют пристального внимания и четкого обоснования подходов, закрепления их законодательными актами, определяющими динамическое сбалансирование направлений и границ влияния на них антропогенных факторов, безусловного их учета при использовании этих объектов [1, 2].

И сегодня, как и раньше, стоит проблема: увеличения площадей земель в обработке, использования торфа как ресурса путем осушения болот, интенсификацией энергетического потенциала тех ресурсов, что есть уже в использовании, применением разработанных наукой и практикой методов сохранения и восстановления их для будущих поколений.

Тенденция к росту численности населения в мире, стремление его к улучшению условий жизни и труда требуют использования как первого, так и второго путей решения этих задач. Сложность заключается в необходимости интенсифицировать производство с охраной окружающей среды, вкладе новых научных разработок в практику, в целом – уменьшения диспаритета между ними.

Сказанное, по нашему мнению, можно иллюстрировать также ситуацией, которая продолжает нарастать между наличием ресурсного фонда земель и распределением его по угольям на одного человека в мире в целом (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Земельный фонд, население и количество пахотной земли на 1 человека [3]

Страны	Земельный фонд, всего, млн га	В том числе сельскохозяйственных угодий, млн га		Население, млн чел.		Площадь пашни на 1 человека
		всего	пахотных земель	1919	1969	
Всего в мире	13442	4283	1428	1770	3520	0,40
СССР в бывших границах	2227	607	225	159	239	0,94
США	936	600	230	100	203	1,25
Украина	60,4	42,9	34,3		46,8	0,71
Ровенская обл.	2,0	0,89	0,56	0,93	1,4	0,53

По данным ученых, использование земельных ресурсов (мира) в 2000 г. по сравнению с 1975 г. было таким [4]:

Население, млн чел.		Обрабатываемые земли, млн га		Площадь на 1 человека, га	
1975	2000	1975	2000	1975	2000
4000	6253	1240	940	0,31	0,15

Причинами такого уменьшения площадей земель в обработке и на 1 человека стали: урбанизация, деградация от антропогенного воздействия и, как следствие, увеличение площадей «бедлендов», пороки экономических систем.

Чтобы уменьшить влияние этих и других негативных факторов, в частности такого как чрезмерная вырубка лесов, использование земельных ресурсов должно быть таким [4]:

- обрабатываемые земли – 2600 млн га – 19,9 %;
- пастбища – 2200 млн га – 16,5 %;
- леса – 3700 млн га – 27,8 %;
- другие – 4780 млн га – 35,8 %.

В предлагаемом обзоре достижений ученых и практиков из рассматриваемой проблемы нами еще раз сделана попытка обобщить их достижения. Широкий круг взаимосвязанных вопросов требует использования достижений родственных наук: геологии, гидрологии, химии, экологии, почвоведения, торфоведения и др. Они, их взаимосвязи требуют этого обобщения и применения общих подходов и методов для рекомендаций производству. Ограниченные возможности этого издания не позволяют выполнить такую задачу, поэтому нами будут с благодарностью восприняты предложения и замечания для дальнейших обобщений.

2.3. Состояние и задачи дальнейшего развития и использования практикой научных разработок относительно рассматриваемых проблем в Полесье, Лесостепи Украины и на соседних с ними территориях

Лабораторные, полевые, в том числе стационарные исследования прошлых лет, выполненные коллективами (по названиям тех лет) УкрНИИГИМ, Львовского СХИ и Университета им. И. Франко, Харьковского СХИ им. В. В. Докучаева, Киевского СХИ и их подразделениями, в том числе НУВХП, не утратили своего значения в рассматриваемом плане и сегодня в понимании генезиса, состава, наличия, высвобождения питательных веществ для растений (даже их потерь), баланса связей с твердой фазой. Плодотворными для понимания и использования торфа и торфяных почв следует считать значительную часть результатов исследований коллективов Сарненской научно-исследовательской станции, Сульского опытного поля, Камень-Каширского и Оржицкого стационаров.

Нельзя также пренебрегать значением и ролью областных управлений сельского хозяйства, практикой отдельных профильных предприятий и хозяйств региона. Их достижения дают возможность сегодня проследить, уточнить динамику водно-физических, химических, физико-химических свойств торфов и торфяных почв региона под антропогенным воздействием, в том числе земледельческого и промышленного использования на фоне природного и регулируемого водно-воздушного режимов и других видов мелиораций.

К сожалению, до сих пор еще остались недостаточно исследованными и обобщенными для использования практикой СЗР такие составляющие рассматриваемой проблемы, как ресурсы выработанных торфяников (в том числе горелых), их регенерация и экологическое значение.

В целом же, из-за отсутствия надлежащего ухода за мелиоративными системами, дефицита удобрений и химических мелиораций состояние значительной части осушенных гидроморфных почв и торфяников оценивается сегодня как неудовлетворительное [5, 6, 7].

Как уже упоминалось, еще в 30-х годах позапрошлого века урожайность зерновых на гидротехнически-мелиорированных землях в северо-западных странах Европы составила 20 ц/га зерновых, в конце XX века она поднялась в Голландии, например, до 60–70 ц/га. Это произошло прежде всего за счет внедрения в практику передовых технологий на фоне гидротехнических мелиораций: подбора сортов, совершенствования обработки и удобрения, агротехники на фоне регулируемого водно-воздушного режима почв.

В Украине, в частности, на осушенных, в том числе торфяных, почвах СЗР (за исключением отдельных хозяйств) на сегодня уровень урожая на гидротехнических мелиорированных землях не превышает 30–40 ц/га. Исправить положение – неотложная, но нелегкая задача, тем более что мелиорации земель, их почв не устраняют полностью природного и антропогенного воздействия на рост и развитие культурных растений [8, 7].

Еще в 1969 г. в издательстве «Мир» (г. Москва) был опубликован сборник статей (перевод с английского) «Горизонты науки и техники», в котором на основании экспертных оценок помещен прогноз до 2000 года развития средств связи, энергетики, использования природных ресурсов, в том числе водных, земельных, почвенных. Не все они осуществились, особенно в отношении водных, земельных и энергетических, и прежде всего по использованию, охране и сохранению торфяных залежей, их добычи, переработки и использования почв, включая торфяные. В переходный период хозяйствования и экономики Украины эти недостатки дают особенно о себе знать [9, 6].

В данном издании предлагается обобщение сведений о происхождении, эволюции, динамике и свойствах торфяных залежей, их почв под влиянием природных условий и антропогенных воздействий и, что самое главное, для рационального использования и сохранения этих ресурсов для будущих поколений с целью гармонизации отношений: человек – среда (природа) – производство.

Эксплуатация торфоресурса, его почв в Полесье и Лесостепи Украины на фоне гидротехнических мелиораций – проблема не только Украины, она международная [10]. На территориях Польши, Беларуси, Германии, США и России она в значительной степени решалась (и решается) в большей степени, чем это имеет место в Украине, включая СЗР. Поэтому есть возможность воспользоваться опытом их использования в этих странах не только для получения урожая, но и для внедрения в практику опыта и мер повышения эффективности использования этих природных образований и унификации их в зарубежные относительно рационального использования и сохранения. В этом, по нашему мнению, и должны заключаться задачи дальнейших исследований и внедрения их достижений в практику в качестве возможного энергетического и земледельческого ресурса.

Болото – поверхность Земли, характеризующееся постоянным или длительным периодическим переувлажнением, поросшая влаголюбивой растительностью. Торф (с немецкого – Torf, с арабского –

Tubar) – продукт разложения остатков болотных растений в условиях переувлажнения. В настоящее время считается, что торф – органо-геологическое молодое природное образование, скапливалось (откадывалось) и откадывается, пока живые корни растений и наземная часть их как торфообразователи не теряют связей с водой (влажгой) и минеральным основанием (последнее – важное и требует учета при решении проблем реновации выработанных торфяников, торфа как возобновляемого энергоресурса) [11].

Преобразование болота в торфяную залежь происходило и происходит двумя путями: зарастанием водоемов и переувлажнением минеральных почв. Этому способствовали геоморфологические, гидрогеологические и климатические условия на территории Волынского-Подольского артезианского бассейна СЗР Украины (табл. 2.2) [12].

Таблица 2.2

Характеристики климатических, геоморфологических и гидрологических условий СЗР Украины

(числитель – интервал значений; знаменатель – значение, наиболее часто встречаемое) [12]

Гидрологический район	Климатические			Геоморфологические			Гидрологические		
	Средне- многолетняя сумма годовых осадков, мм	Средне- многолетняя сумма годового испарения, мм	Средне- многолетняя величина годового дефицита влажности, мм	Вертикальное расчленение рельефа, м	Горизонтальное расчленение рельефа, км/км ²	Углы наклона земной поверхности, градусы	Коэффициент суммарного годового стока, доли единицы	Соотношение подземного и суммарного речного стока, %	Соотношение объема средневесеннего и среднегодового суммарного речного стока, %
Волыно-Подольский артезианский бассейн	<u>600-1230</u> 600-800	<u>490-580</u> 500-550	<u>3,0-5,0</u> 3,0-3,5	<u>20-60</u> 0-40	<u>0,0-2,0</u> 0,0-1,0	<u>0-16</u> 0-8	<u>0,09-0,89</u> 0,15-0,25	<u>1,3-41,7</u> 5-20	<u>3-38</u> 25-30

Застой воды на поверхности минеральных почв – следствие их низкой фильтрационной способности [13]. Верхние слои торфяников подвержены влиянию условий и факторов почвообразования [14], приобретают свойства почвы (до глубины ≈ 100 см) и, что наиболее важно, такое свойство почвы, как плодородие – способность обеспечивать потребности растений в факторах и условиях их развития и роста.

Как видно из приведенных в таблице 2.2 данных, по соотношению среднегодовых осадков и их испарений рассматриваемую территорию можно и нужно относить не только к переувлажненным (по водным режимам), но и к периодически увлажняемым, когда периодически может иметь место и дефицит влажности (как это произошло в вегетационный период и после него) в 2011–2013 гг.

Как в Лесостепной части СЗР, так частично и в Полесской выраженным является горизонтальное и вертикальное расчленение рельефа, следствие чего есть расхождения суммарного стока (поверхностного и частично почвенного), а это приводит к изменениям свойств почвенного покрова, его пестроты по территории.

При первом или втором путях образования торфяников, их верхней составляющей – торфяных почв в минимуме есть такие элементы питания растений, как калий и фосфор, из микроэлементов – медь и некоторые другие, как и в растениях-торфообразователях (см. далее).

По растительности, из которой образовались и образуются в настоящее время торф и торфяные почвы исследуемых территорий, связям их с грунтовыми и поверхностными водами торфяные отложения и почвы СЗР относятся к низинным, переходным, реже – верховым; по видам растений, из которых они образовались, – травяным, травяно-моховым [13, 14, 16, 17].

В зависимости от содержания солей, которые питают и питают болота, еще Д. К. Зеров [16] делил их на олиготрофные (верховые), эвтрофные и алкалитрофные (низинные).

Олиготрофные болота имеют бедный минеральный состав (в СЗР почти не встречаются).

Эвтрофные болота – это те, в которых содержание минеральных элементов в количествах, достаточных для питания влаголюбивых растений: осоки, зеленого мха, тростника. Реакция их грунтовых вод – слабощелочная или близка к нейтральной.

Алкалитрофные болота характеризуются высоким содержанием в водах минеральных соединений: карбонатов кальция, натрия (распространены преимущественно в Левобережной части Полесского и Лесостепного Приднепровья).

С точки зрения использования торфяных почв, для культурных растений до определенного уровня является желательной повышенная их зольность (содержание минеральных соединений); с точки зрения энергетического использования торфа – повышенная зольность нежелательна.

По содержанию минеральной части в твердой фазе этих природных образований они намного отличаются от состава ее в минеральных почвах. Именно это и предопределяет в основном специфику торфяных почв и торфа, их агроулучшительные свойства.

Распространение (приуроченность) торфяных образований по территории Украины наиболее удачно, по нашему мнению, можно иллюстрировать на рисунке 2.1 [18]. Как видно по нему, заболоченность и заторфованность территории Украины являются выраженными в правобережной и левобережной частях Полесья и Лесостепи Украины (табл. 2.2). В более современном отражении показал это Р. С. Трускавецкий в монографии «Торфяные почвы и торфяники Украины» [19].

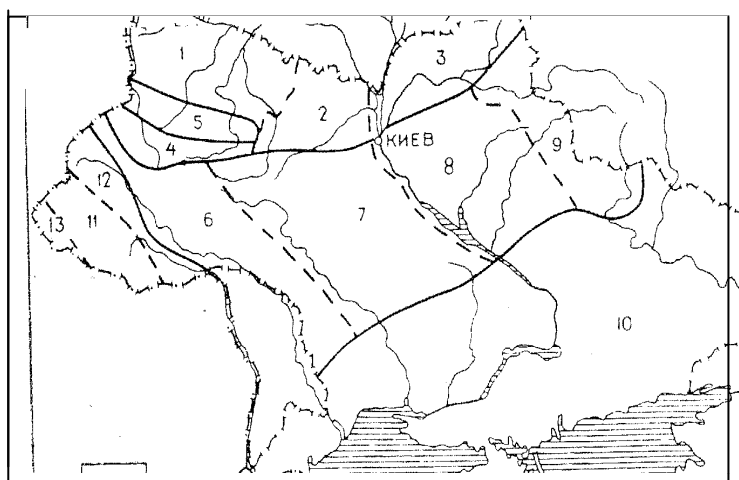


Рис. 2.1. Схематическая карта торфоболотных областей и районов Украины (по С. Н. Тюремнову [18]):

1 – Западное Полесье; 2 – Центральное Полесье; 3 – Восточное Полесье; 4 – Малое Полесье; 5 – Волынская Лесостепь; 6 – Подольская Лесостепь; 7 – Правобережная Лесостепь; 8 – Левобережная Лесостепь; 9 – Восточная Лесостепь; 10 – Степь; 11 – горные районы Карпат; 12 – Прикарпатье; 13 – Закарпатье; 14 – границы торфо-болотных областей; 15 – границы торфо-болотных районов

Таблица 2.3

Характеристика заболоченности и заторфованности территории Украины

Природно-исторический район	Заторфованность, %	Территория, тыс. км ²	Площадь болот, га		Заболоченность, %	Количество болот	Средняя глубина, м
			в пределах промышленных залежей	в нулевых границах			
Полесье	5,6	94,3	529427	756824	8,0	1820	1,63
Малое Полесье	2,3	13,2	31408	44890	3,4	91	2,52
Лесостепь	1,15	195,4	223733	319618	1,6	857	2,10
Степь	0,02	234,0	5303	7576	0,03	95	0,98
Карпаты и Прикарпатье	0,3	44,3	12523	17890	0,04	36	1,25
Крым		25,5	-	-	-	-	-
Вместе	1,33	606,7	802394	1146798	1,97	2899	1,87

Их площади, заболоченность и заторфованность, средняя толщина отложений, показатели, которые их характеризуют, приведены в таблице 2.3 (по С. Н. Тюремнову) [18].

Как видно из приведенных данных (рис. 2.1, табл. 2.3), площади торфяных почв и торфяников Полесья и Северной Лесостепи Украины являются значительным резервом энергетического и земледельческого использования. Площади переувлажненных почв и осушенных земель и их использования по состоянию на 1993 г. по административным областям Украины, в том числе гидротехнически-мелиорированных (осушенных), приведены в таблице 2.4 [5, 7, 20, 17].

Таблица 2.4

Площади переувлажненных и осушенных земель, тыс. га

Области	Общая площадь переувлажненных почв	В том числе торфяных	Наличие осушенных земель по состоянию на				
			01.01. 1969	01.01. 1979	01.01. 1984	01.01. 1990	01.01. 1993
Волинская	574	320	0,2	165,7	309	384	335
Ровенская	440	240	-	189	299	283	259
Львовская	703	108	-	326	434	503	372
Ивано-Франковская	260	-	-	74	141	175	165
Хмельницкая	188	11	24	30	69	97	113
Тернопольская	222	-	-	51	109	149	152

В настоящее время, очевидно, эти площади несколько изменились в результате деградиционных процессов, вторичного заболачивания гидротехнически-мелиорированных земель, выработки торфяников и по другим причинам, о чем пойдет речь дальше.

Твердая фаза торфа состоит из неразложившихся растительных веществ (клетчатки) коллоидного гумуса и в нем: битумов, пентозанов, органических кислот, определенного количества минеральных соединений.

Содержание золы в торфах Украины обычно не превышает 35–45 %. По этому показателю они бывают: малозольные (золы менее 6 %); средnezольные (6–12 %); высокозольные (20–35 %) и с очень высоким содержанием золы (35–50 %). По качественному составу золы: известняковые ($\text{CaO} > 5\%$); железистые ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$); кремнистые ($\text{SiO}_2 > 10\%$); вивианитовые ($\text{P}_2\text{O}_5 > 1\%$); засоленные (солей натрия около 1 % и выше).

Важным показателем выбора направлений использования торфа является содержание в нем (в твердой фазе) гумуса – продуктов разложения и синтеза из растений-торфообразователей биофазой и химическими реакциями между твердой фазой, водой и воздухом.

Растения-торфообразователи, в том числе низинных торфяников и их почв, изучаемых административных областей СЗР Украины состоят в основном из органических и минеральных соединений (табл. 2.5). Они отличаются по содержанию органической и минеральной составляющих твердой фазы.

Таблица 2.5

Состав и соотношение между органической и минеральной составляющими растений-торфообразователей низинных торфяников (по С.Н. Тюремнову и Р.С. Трускавецкому) [18, 19]

Вид растения	Содержание (в %) в растениях-торфообразователях	
	органического вещества	золы
Ольха (<i>Alnus glutinosa</i>)	98,29	1,71
Береза (<i>Betula pubescens</i>)	99,25	0,75
Тростник (<i>Phragmites communis</i>)	94,60	5,40
Осока шершавоплодная (<i>C. lasiocarpa</i>)	96,66	3,34
Осока своеобразная (<i>C. Appropinquata</i>)	91,43	8,57
Пушица многоколосковая (<i>Eriophorum polystachyon</i>)	95,61	4,39
Сабельник (<i>Comarum palustre</i>)	95,07	4,93
Вахта (<i>Menyanthes trifoliata</i>)	95,61	4,39
Хвощ (<i>Equisetum heleocharis</i>)	82,34	17,66
<i>Calliergonella cuspidate</i>	91,44	8,56
<i>Drepanocladus vernicosus</i>	94,79	5,21
<i>Sphagnum obtusum</i>	94,93	5,07
<i>Sph. subsecundum</i>	95,16	4,84
<i>Sph. warnstorffii</i>	93,87	6,13

Такая пестрота содержимого, особенно минеральной части, в растениях-торфообразователях, безусловно, является исходной в генезисе низинных торфов (а они преобладают по площадям и количеству торфяных ресурсов и их земель в Полесье и Лесостепи). Этот показатель также является исходным для определения генезиса, свойств и выбора промышленного или сельскохозяйственного использования торфяных почв и торфа.

В связи с необходимостью достижения оптимальных значений этих показателей для выращивания на торфяных почвах культурных растений целесообразно сравнить их по этим же показателям с минеральными почвами, что выполнил Р. С. Трускавецкий с сотрудниками (табл. 2.6) [18, 19].

Таблица 2.6

Сравнительные параметры состава и свойств торфяных и минеральных почв

Показатели, единицы измерения	Торфяные почвы с содержанием золы, %			Дерново-подзолистые супесчаные	Черноземы типичные тяжелосуглинистые
	<15	15-30	30-50		
Количество определений	22	30	28	12	16
Плотность строения, г / см ³	<u>0,08-0,14</u> 0,11	<u>0,12-0,26</u> 0,18	<u>0,19-0,47</u> 0,32	<u>1,42-1,58</u> 1,49	<u>1,10-1,32</u> 1,23
Скважность, %	<u>86-95</u> 89	<u>84-91</u> 87	<u>75-87</u> 81	<u>39-46</u> 43	<u>49-57</u> 54
Общие запасы в слое 0–50 см, т/га:					
органического вещества	<u>510-690</u> 625	<u>580-820</u> 720	<u>430-810</u> 580	<u>38-66</u> 46	<u>198-285</u> 230
азота (N)	<u>17-28</u> <u>23</u>	<u>20-36</u> 29	<u>14-28</u> 21	<u>3-4</u> 3,4	<u>13-18</u> 15
фосфора (P ₂ O ₅)	<u>1,1-1,9</u> 1,5	<u>1,3-3,2</u> 2,4	<u>2,9-6,7</u> 4,4	<u>3,3-5,0</u> 4,1	<u>6,7-8,4</u> 7,5
калия (K ₂ O)	<u>0,4-1,1</u> 0,7	<u>0,8-2,6</u> 1,8	<u>2,5-4,6</u> 3,4	<u>22-41</u> 32	<u>53-67</u> 62
кальция (CaO)	<u>8-28</u> 14	<u>10-140</u> 44	<u>22-440</u> 220	<u>34-52</u> 41	<u>110-160</u> 130
железа (Fe ₂ O ₃)	<u>14-32</u> 19	<u>22-48</u> 32	<u>38-168</u> 86	<u>35-68</u> 49	<u>165-220</u> 190
магния (MgO)	<u>1,2-2,2</u> 1,7	<u>3-18</u> 11	<u>5-76</u> 34	<u>14-22</u> 18	<u>20-60</u> 45
Емкость поглощения, мг-экв / 100 г	<u>65-130</u> 85	<u>45-140</u> 70	<u>30-90</u> 55	<u>3,2-7,5</u> 5,4	<u>36-48</u> 42
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	<u>45-110</u> 70	<u>30-95</u> 65	<u>25-60</u> 40	<u>1,2-3,0</u> 2,4	<u>0,8-1,8</u> 1,4
Влагозапасы при НВ в слое 0–50 см, м ³ /га	<u>2600-4900</u> 3800	<u>2100-5200</u> 3550	<u>2050-4600</u> 2170	<u>840-1100</u> 960	<u>1400-1800</u> 1600
Условно продуктивная влага (НВ-ВЗ) в слое 0–50 см, м ³ /га	<u>2050-3600</u> 2960	<u>1900-4400</u> 2960	<u>1650-3950</u> 2800	<u>720-940</u> 820	<u>1000-1200</u> 1100

Примечание: числитель – колебания значений; знаменатель – среднестатистическое.

Если оценивать значение этих показателей (табл. 2.6), то следует еще раз подчеркнуть, что на них основываются проектирование и агромероприятия, необходимые для поддержания плодородия и окультуривания этих почв. С этой точки зрения сравнение по химическому составу торфяных и минеральных почв А. Н. Соколовским приводится в его учебнике «Сельскохозяйственное почвоведение» (табл. 2.7) [22].

Как видно из приведенных в таблице 2.7 данных, среднее содержание органического вещества формируется из растений-торфообразователей в количестве от 87 % в низинном торфе до 89 % в переходном и до 95 % – в верховом торфе. В нём содержится минеральных соединений соответственно около 13 % в низинном, до 10 % – в переходном и около 5 % – в верховом, азота – около 4 %, фосфора – 0,4 и калия – 0,2 %. Эти данные также помогают в выборе направления использования видов торфа и их почв.

При трансформировании качественного состава органического вещества под антропогенным воздействием имеет место увеличение содержания устойчивых к дальнейшему разложению соединений, а именно битумов. Об этом свидетельствуют также данные, приведенные в таблице 2.8, а именно битумов, которые обуславливают в торфе нежелательные водно-физические, воздушные свойства при сельскохозяйственном использовании.

Таблица 2.7

Химический состав торфов как следствие трансформации растений-торфообразователей, весовые %

Тип торфа	Органические вещества	Минеральные вещества	N	P	K	Ca	pH
низинный	87,1	12,9	3,8	0,4	0,2	2,0	6-7
верховой	95	4,9	1,0	0,1	0,2	0,4	3-4
переходный	89,5	10,5	2,0	0,2	0,1	1,8	4-5

В условиях недостатка кислорода с глубиной торфяного отложения, почвы на нем процессы трансформации органического вещества не заканчиваются образованием гумусовых соединений. Они протекают до битуминозных соединений и образования угля. Об этом свидетельствуют также данные, приведенные в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Изменения элементарного состава растительных остатков различной степени разложения, % [22]

Элементы	целлюлоза	Древесина дуба разложившаяся			гуминовая кислота	Торф черный		Уголь			
		светлая	светло-коричневая	темно-коричневая		с глубины 2,1 м	с глубины 4,2 м	лигнит - бурый уголь	битуминозированный	битуминозный	антрацит
Уголь	49	50	54	56	59	58	62	64	69	84	95
Водород	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6
Кислород	44	42	41	39	66	1	2	4	1	1	2
Азот	-	1	-	-	36	1	2	4	1	1	3

Пространственно-гидротермическая специфика трансформации запасов NPK в почвах и торфе, их динамичность, как и существующие методы отбора образцов для анализов, не позволяют интерпретировать их результаты как абсолютно достоверные. Поэтому здесь и в дальнейшем мы приводим собственные данные и из других источников только для выявления имеющихся общих направлений и тенденций.

Как уже отмечалось, показатели трансформации состава твердой фазы торфа, его почв могут приводить к положительным или отрицательным заключениям в зависимости от назначения и использования торфо-ресурсов (промышленного или сельскохозяйственного). Особенно они отличаются при неудачном (по цели) регулировании водно-воздушных свойств (водно-воздушного режима) залежей (почв) и условий их использования. Об этом свидетельствуют данные, приведенные в таблице 2.9 [19, 23, 24].

Анализ приведенных в таблице 2.9 данных свидетельствует о том, что вторичные изменения торфяников и их почв еще недостаточно учитываются, а иногда даже не принимаются во внимание, при сельскохозяйственном использовании на практике, потому что, особенно в последнее время, снова усилились деградационные процессы, в том числе вторичное заболачивание, эрозия, усадка, вымывание и др. Они являются следствием упущений, а то и послабления ухода за гидротехническими мелиоративными системами [5, 25].

**Трансформация качественного состава органического вещества осушаемых торфяников,
по данным стационарных опытов при различных условиях их сельскохозяйственного использования,
% от общего содержания Сорг.[19]**

Агрофон		Общий Сорг., мас. %	Битумы, мас. %	Фракции Сг.к.				Фракции Сф.к.			Сг.к.
культура	удобрения			1	2	3	1а	1	2	3	Сф.к.
<i>Камень-Каширский стационар, слой 0-30 см, 28-летнее использование</i>											
Целина		49,3	3,83	14,8	3,0	16,9	1,4	10,8	2,0	3,1	2,0
Многолетние травы	РКСu	46,6	3,32	17,5	3,8	17,6	0,8	10,7	2,3	3,8	2,2
	Без удобрений (контроль)	47,8	3,64	17,0	3,7	18,8	1,2	9,2	3,0	5,2	2,2
Лугово-полевой севооборот	РКСu	46,9	3,48	17,8	3,4	17,5	1,4	8,8	2,9	5,4	2,0
	РКСu + известь	43,8	2,86	19,7	4,6	19,4	1,8	8,4	1,5	4,0	2,8
	РКСu + супесь	40,2	1,42	16,6	2,5	17,9	1,1	9,6	2,6	4,9	2,0
<i>Оржицкий стационар, слой 0-25 см, 21-летнее использование</i>											
Целина		29,5	2,23	4,5	7,1	20,0	-	8,3	3,7	8,1	1,6
Многолетние травы	РКСu	24,8	1,46	7,8	12,4	16,2	-	10,8	6,4	6,0	1,6
Лугово-полевой севооборот	РКСu	22,8	1,58	6,4	11,8	18,0	-	11,4	4,2	6,6	1,6
	РКСu + гипс	24,2	1,12	7,6	15,6	18,6	-	10,7	5,1	8,0	1,8
	РКСu + лессовидный суглинок	19,8	1,16	9,2	14,9	18,8	-	9,3	6,0	8,5	1,8

2.4. Агромелиоративная характеристика торфяников и торфяных почв Полесья и Лесостепи Украины

Большинство торфяников и торфяных почв Полесья и Лесостепи Украины представлены низинными [16, 19], но видовой состав их различен. С точки зрения почвенно-агромелиоративной важности, в первую очередь, соотношение в верхнем и подстилающих его слоях: органической и минеральной частей в твердой фазе, качественный состав минеральной и органической составляющих, степень разложения торфа, подстилающей его породы.

Основываясь на одной из первых украинских классификаций торфяников и почв на них (Н. И. Середа [17]) и новейших (Р. С. Трускавецкий [19]), многообразие торфяных почв Полесья и Лесостепи Украины можно представить на схеме (рис. 2.2).

Мелиорация торфяных почв и торфяников этих территорий приводит к формированию их двухчленного профиля, верхний слой которого состоит из аморфного органического вещества (в основном) и содержит больше различного рода минеральных соединений (золы). Описание их строения и состава приводится ниже (по месту отбора образцов).

Поскольку последней из поставленных конечных задач этого описания является регенерация (восстановление) исследуемых торфяников, предоставление их донным остаткам признаков и свойств торфа и его почв, обладающих качеством плодородия, – способностью удовлетворять потребности растений в факторах и условиях роста и развития, очевидно, целесообразно рассмотреть основные свойства торфа и почв на нем как в целинном состоянии, так и по изменениям, которые они приобретают под антропогенным воздействием. Для этого приведены их характеристики.

2.4.1. Строение профиля торфяных почв СЗР Украины. Ниже представляем описание строения профиля низинной торфяной почвы Полесья на примере Сарненской исследовательской станции (болотный массив «Чемерное»). Участок порос березой, осокой, камышом. Разрез заложен на расстоянии 100 м от магистрального канала, у торфоразработки.

T₁ – 0–30 см торф темно-коричневого цвета, свежий, хорошо разложившийся, рыхлый, мелкозернистой структуры, пронизан корнями растений.

T₂ – 30–70 см торф бурый, влажный, слабо разложившийся, хорошо заметны остатки осок, гипсового мха, слабо уплотнен.

T₃ – 70 см и глубже (до воды): темновато-бурый, влажный, в верхней части, заметны остатки камыша, вахты, мха.

Почва: Торфяная, среднеглубокая осоково-тростниковая; малозольная, в верхней части профиля сохранились растительные остатки. Уровень грунтовых вод – 90 см от поверхности. По нашим и данным Сарненской опытной станции, состав торфа такой (в %):

Потери от прокаливания	Минеральный остаток	SiO ₂	N _{общ}	CaO	MgO	K ₂ O	Na	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	pH
87–90	10	1,53	8,07	3,44	1,80	0,10	0,05	3,02	1,8	5,4

Вес 100 см³ этого торфа – 128 г, влагоемкость ≈ 600 %.

В качестве примера строения профиля торфяной почвы Левобережной Лесостепи приведем её описание в поймы р. Труберж:

T₁ – 0–35 см: темно-серый, хорошо разложен (гумусированный), с дерном (корни злаковых трав), мелко оструктуренный.

T₂ – 40–65 см: уплотненный, серо-коричневый, пронизанный (редко) корнями трав.

T₃ – 70–90 см: менее разложен, буровато-коричневый, плотный, быстро темнеет на воздухе.

T₄ – 80–100 см: слабо разложившийся осоково-тростниковый, быстро темнеет на воздухе, плотный, слабо гумифицированный (полосками), остатки моллюсков, камыша.

Почва: Торфяная, развитая, карбонатная, высокозольная на торфе. Уровень грунтовых вод после 24 ч заложения разреза – 140 см от поверхности. По данным анализов, состав верхнего слоя следующий (в %):

Потери от прокаливания	Минеральный остаток	SiO ₂	N _{общ}	CaO	MgO	K ₂ O	Na	P ₂ O ₅	pH
60,6	35,4	12,9	5,0	20,6	2,5	0,26	4,2	0,4	7,6

В водной вытяжке по всему профилю – интенсивная реакция на HCO₃⁻ и менее заметна на Cl⁻ и SO₄²⁻. Исключительно своеобразными среди торфяных почв Левобережной Лесостепи являются солончаково-солонцеватые почвы. Они образовались под воздействием увлажнения минерализованными водами (преимущественно гидрокарбонатными) с примесями карбонатов кальция. Происхождение этих солей связано с гидрологическим режимом и химическим составом подстилающих горных пород, привнесением солей в почвообразующие породы, в том числе торфа на них грунтово-подземными водами [24, 26].

2.4.2. Физико-химические свойства исследуемых торфов и торфяных почв. Активная кислотность большинства торфов и торфяных почв Полесья СЗР находится в интервале от 5,2 до 5,6 pH (в водной вытяжке). Обменная кислотность – в пределах от 4,4 до 4,8. Содержание обменно-поглощенных катионов приведено в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Состав и количество обменно-поглощенных катионов в торфяных почвах, подстилающих их породах [24, 5]

Почвы, место закладки, отбора образцов	Глубина, см	мг-экв / 100 г почвы					% от суммы	
		Ca	Mg	Na	K	сумма	Ca	Na
<i>Полесье</i>								
Торфяная, низинная, глубокая, среднезольная, безкарбонатная, осоково-тростниковая на торфе (Сарненская НИС, Ровенская обл.)	0-30	80,2	11,5	-	0,80	92,5	86,8	-
	40-50	85,5	5,0	-	0,70	91,3	83,4	-
<i>Лесостепь</i>								
Торфяная, низинная, глубокая, высокозольная, карбонатная, солончаково-солонцеватая на торфе (пойма р. Труберж, Киевская обл.)	0-10	76,0	19,7	8,1	-	103,8	73,0	8,0
	10-20	66,2	23,2	9,6	-	99,0	66,6	9,7
	30-40	64,2	26,4	9,6	-	100,2	64,1	9,6
	50-60	59,1	24,2	9,9	-	93,2	63,4	10,6
	80-100	46,6	18,7	6,2	-	72,5	64,3	8,7

Из приведенных данных видно, что преобладающим в составе обменно-поглощенных катионов коллоидно-поглощающего комплекса твердой фазы торфяных почв является катион кальция. В то же время в солончаково-солонцеватых почвах рядом с доминирующим кальцием содержится от 8 до 10 % обменного натрия.

В настоящее время наукой еще не предложено более подробной градации, по которой можно было бы дифференцировать почвы (Левобережного Полесья и Лесостепи Украины) по степени их солонцеватости. Однако и при таком, на первый взгляд незначительном, количестве поглощенного натрия он существенно влияет на физические и физико-химические свойства этих почв (связность и липкость твердой фазы во влажном состоянии, твердость и плотность – в сухом).

В уксусно-кислой вытяжке из торфяной почвы можно установить (даже с нейтральной реакцией) значительное количество ионов водорода. По происхождению такой водород не является обменно-поглощенным. Появление его в растворе связано с гидролизом органических веществ. Поэтому оценивать торф и торфяные почвы по гидролитической кислотности не совсем целесообразно, потому что эти показатели могут привести к неверным выводам. С этой целью более целесообразным было бы руководствоваться данными по обменной кислотности с последующей обязательной проверкой необходимых доз известки проведением полевых опытов.

2.4.3. Особенности водно-физических свойств торфов и торфяных почв. «Связывание» воды и воздуха коллоидами торфа – термодинамический процесс. Он способствует уменьшению свободной поверхностной энергии твердой фазы торфа. Органические коллоиды торфа и торфяных почв – гидрофильные и смачиваются водой. Но после обезвоживания они покрываются «слоем» воздуха, в результате чего вода уже меньше удерживается на их поверхности. Такие процессы имеют место при переосушении торфа и торфяных почв, после чего бывает трудно их увлажнить. В отдельных местах поверхности коллоидные частицы торфа покрыты битумами, вследствие чего также почти не смачиваются водой.

Нами проведено исследование связывания воды торфом при поочередном его увлажнении-высушивании (табл. 2.11) [20, 27].

Как уже отмечалось, торфам и торфяным почвам свойственна очень высокая влагоемкость. Как видно из данных, приведенных в таблице 2.12, все категории максимальной влагоемкости как в единицах веса, так и в единицах объема намного превышают содержание форм воды в минеральной почве. Интенсивное «связывание» воды торфом и торфяными почвами является причиной того, что «мертвый» запас воды, недоступной для растений, также высок – до 40–60 % от полной влагоемкости. Если не повышать уровень грунтовых вод, потребности растений в продуктивной влаге в засушливые периоды только за счет атмосферных осадков не всегда обеспечиваются. Необходимо дополнительное их увлажнение, что достигается поднятием уровня грунтовых вод или поверхностным увлажнением (дождеванием).

Таблица 2.11

**«Связывание» воды торфом при поочередном его увлажнении,
% от сухого торфа [26, 10]**

Давление водяного пара над осушителем	Обезвоживание	Торф		Он же насыщенный	
	Увлажнение	Слабо разложженный	Сильно разложженный	Калием	Кальцием
12	I	22	29	39	23
	II	19	27	36	16
	III	16	26	32	15
	IV	18	27	31	15
21	I	2	3	3	2
	II	2	3	28	1
	III	1	2	2	1

Высота активного капиллярного поднятия воды в описываемых торфяных почвах не превышает 80 см, поэтому низкий (допустимый) уровень грунтовых вод в них должен быть: под лугами – до 100 см; под зерновыми – 120 см; корнеплодами, картофелем, кукурузой – 140 см [28, 29].

Поддерживать необходимый уровень грунтовых вод в торфяных почвах трудно. Даже при наличии совершенной осушительно-оросительной системы весной уровень грунтовых вод в них может достигать поверхности почвы, а летом и осенью – удаляться с нее. Поэтому задачу регулирования водно-воздушного режима торфяных почв в Полесье и Лесостепи Украины надо решать как составляющую проблемы управления гидрологическим режимом территории в целом [13, 26, 10].

Таблица 2.12

Водно-физические свойства торфяных почв и торфов Полесья и Лесостепи Украины [18]

Глубина, см	Индекс	Плотность твердой фазы	Плотность	Общая пористость, %	Аэрация при предельной максимальной влажности	Влагоемкость, %							
						полная		капиллярная		полевая		максимальная молекулярная	
						на вес	на объем	на вес	на объем	на вес	на объем	на вес	на объем
<i>Торфяная глубокая на торфе – с. Карпиловка, Рокитновского района, Ровенской области (Полесье)</i>													
0-35	T ₁	1,53	0,14	91,0	33,0	587,0	82,0	523,0	73,0	417,0	58,0	61,0	8,0
35-37	T ₂	1,53	0,12	92,0	32,0	752,0	90,0	741,0	88,0	503,0	60,0	62,0	7,0
57-91	T ₃	1,54	0,09	95,0	29,0	1049,0	94,0	1040,0	93,0	742,0	66,0	76,0	7,0
91-149	T ₄	1,54	0,07	95,0	26,0	1290,0	90,0	1279,0	89,0	988,0	69,0	73,0	5,0
<i>Торфяная глубокая на торфе, карбонатная, высокозольная, слабо солонцеватая – пойма р. Трубеж, с. Гайсин, П.-Хмельницкого района, Киевской обл.</i>													
10-27	T ₁	1,86	0,13	93,0	42,0	584,5	75,9	559,2	72,7	394,7	51,3	67,6	8,8
27-43	T ₂ ^K	1,62	0,13	92,0	21,0	655,5	85,2	632,1	82,2	546,0	70,9	70,4	9,2
43-56	T ₃ ^K	1,71	0,16	91,0	17,0	519,8	83,2	513,0	82,1	459,0	73,4	71,8	11,5
56-70	T ₄ ^{PK}	2,47	0,31	87,0	-	273,1	84,7	569,2	83,4	-	-	-	-
70-93	T ₅	1,80	0,15	92,0	18,0	571,3	85,7	566,8	85,0	492,5	73,8	56,2	17,4
<i>Дерново-глеевые глинисто-песчаный на аллювии – с. Карпиловка, Рокитновского района, Ровенской области (для сравнения)</i>													
0-33	H	2,64	1,41	46,0	21,0	30,0	42,0	27,0	38,0	18,0	25,0	4,0	6,0
33-50	P	2,68	1,80	33,0	11,0	17,0	31,0	14,0	25,0	12,0	29,0	4,0	7,0
50-91	P	2,68	1,68	37,0	12,0	22,0	36,0	19,0	32,0	15,0	25,0	2,0	3,0
91-135	P	2,69	1,70	35,0	11,0	21,0	36,0	20,0	34,0	15,0	26,0	4,0	7,0

2.5. Режим питательных веществ торфов и торфяных почв Полесья и Лесостепи Северо-Западного региона Украины

2.5.1. Режим азота. Высокое содержание органических веществ в торфе и торфяных почвах обуславливает исключительное богатство их азотом: 2–3 % от веса сухого торфа, или 0,36–0,40 % от его объема. Как в Лесостепи, так и в Полесье высокая степень гумификации торфа соответствует большому содержанию в нем азота. Это видно также из данных о содержании азота в осушенных торфяных почвах разной давности их сельскохозяйственного освоения и степени разложения органической массы (табл. 2.13).

Таблица 2.13

Содержание азота в торфяных почвах Полесья и Лесостепи

Почвы и места отбора образцов	Глубина, см	Состав почвы в %			Содержание азота, %	
		Перегной	Растительные остатки	Остаток после прокаливания	весовых	объемных
Полесье						
Сарненская НИБС						
Целина	0-20	61,9	27,0	8,7	3,15	0,37
в культуре с 1948 г.	0-20	70,9	16,4	10,3	3,04	0,37
Лесостепь						
Сульское НИБП						
Целина	0-25	46,9	17,8	22,6	2,17	0,36
в культуре с 1948 г.	0-25	62,0	15,0	23,0	2,27	0,38
Панфильское НИБП						
Целина						
в культуре с 1948 г.	0-25	62,0	15,0	23,0	2,27	0,38

Только 0,5–3,0 % от общего количества азота торфа «поддается» гидролизу при взаимодействии его с серной кислотой (2%-ным раствором серной кислоты). Но в результате деятельности микроорганизмов, участвующих в превращении соединений азота в торфяных почвах, в последних могут накапливаться значительные количества аммонийного и нитратного азота – до 2000 мг и более на кг почвы (табл. 2.14). Такие количества аммиачных и нитратных соединений азота (до 1000 кг/га пахотного слоя) не могут быть использованы ни одной из выращиваемых культур, а поэтому существует большая вероятность потерь азота из торфа в грунтовые воды и в атмосферу.

Таблица 2.14

**Содержание аммиачного и нитратного азота в торфяных почвах
Полесья и Лесостепи Украины**

Угодья	Глубина, см	мг сухой почвы	
		нитраты	аммоний
<u>Лесостепь</u> целина в культуре с 1936 г. (пропашные)	0-20	16	82
	20-40	27	22
	0-20	1222	18
	20-40	225	44
<u>Полесье</u> целина в культуре с 1914 г.	0-20	40-60	91
	40-60	не обнаружено	
	0-20	12	59
	40-60	следы	

Интенсивность накопления подвижных соединений азота в торфяных почвах (как и в других) зависит от температуры и влажности (уровня грунтовых вод), сложения, плотности, выращиваемой культуры (под травами нитратов накапливается меньше, чем под пропашными культурами). В почвах Лесостепи эти процессы протекают более энергично, чем в Полесье [24, 32].

На основании описания свойств торфяных почв и торфа как органогенной породы в предыдущем разделе показано, что при их использовании по-разному протекают процессы, в частности трансформации белковых соединений азота в минеральные, доступные для растений формы. На практике наиболее характерными из них являются следующие случаи:

- а) низкое содержание доступных для растений соединений азота в первые годы освоения слабо разложенных торфяных почв и торфа;
- б) уменьшение, тем значительнее, чем содержание подвижных соединений азота в используемых почвах, если поверхность их покрывается плотно дерном и недостаточно аэрируется [33, 19 и др.].

В Украине 2600 га болотных, заболоченных, в том числе торфяных почв [19]. Значительная часть их используется как удобрение для минеральных почв. Но и до сих пор мало известно о торфе как об источнике питания растений, включая азот (при внесении его в почву).

Валовое содержание азота в торфах Украины, а также его подвижность мы изучали лабораторными и полевыми исследованиями, в том числе проведением стационарных полевых опытов.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что как на Полесье, так и в Лесостепи большей степени гумификации торфа соответствует большее содержание в нем азота. Эту закономерность подтверждают также данные, полученные при изучении торфяных образований разной степени окультуривания и давности их использования.

Имеющиеся многочисленные собственные и литературные данные о количестве азота, который гидролизует в торфах различных почвенно-климатических регионов Украины, свидетельствуют, что в большинстве случаев это количество не превышает 40–60 мг в 100 г почвы.

Чтобы исследовать, насколько устойчиво конституционный азот удерживается органическим веществом торфа и каковы перспективы его высвобождения в процессе минерализации из органического вещества, мы использовали в качестве экстрагента не только 2%-ную серную кислоту, но и нарастающий ряд ее концентраций (перед определением образцы промывались от аммиачных и нитратных соединений азота, а в случае карбонатности использовали кислоту в количествах, необходимых для нейтрализации карбонатов) (табл. 2.15).

Полученные данные (табл. 2.15) свидетельствуют об устойчивости связей азота в составе органической части исследуемых торфов и о наличии значительных отклонений в зависимостях между степенью гумификации торфа и высвобождением из него азота.

Таблица 2.15

Степень «подвижности» азота в органическом веществе торфов Лесостепи

Место отбора образцов (поймы)	Степень гумификации торфа	Содержание азота в мг на 100 г сухого торфа при концентрации H ₂ SO ₄					
		2 %	5 %	10 %	20 %	40 %	60 %
р. Сула	55	26	47	66	76	129	264
р. Грубеж	35	24	40	80	124	380	214

Выход гидролизуемого азота резко уменьшался в образцах, отобранных из более глубоких слоев торфа или из более глубоких горизонтов почвенного профиля, когда торфяная почва подстилается сильно гумифицированным торфом – породой (об этом речь пойдет в разделе о возможности и путях ренатурализации выработанных и выгоревших торфяников и почв).

В естественных условиях превращение соединений торфа происходит под влиянием деятельности микроорганизмов: аммонификаторов, нитрификаторов, грибов и других живых организмов, его населяющих, а также биологических и химических процессов (полимеризации, конденсации) и др. Полученные лабораторией микробиологии почв УНИИПА результаты исследований торфяных почв Полесья и Лесостепи Украины [34] приведены в табл. 2.16, 2.17).

При большом заселении этих почв микроорганизмами привлекает внимание тот факт, что даже в целинной осушенной торфяной почве и торфянике Лесостепи присутствует значительное количество микроорганизмов-нитрификаторов. Это и определяет характер процессов минерализации азотсодержащих веществ, который может быть оценен по наличию в торфе нитратов (табл. 2.16).

Приведенные в таблицах 2.16, 2.17 данные показывают, что в торфяных почвах Лесостепи процессы нитрификации протекают как в обрабатываемой, так и в целинной осушенной почве. Если же поверхность почвы в оптимальном увлажнении и рыхлом состоянии (под пропашными), активизация азота может происходить настолько энергично, что на 1 кг почвы накапливается до 1200 мг NO₃ (от общего (валового) азота), то есть до 3 % от его валового содержания. То же имеет место и с фосфатами (см. далее).

Таблица 2.16

Количество микроорганизмов (млн / 1 г сухой торфяной почвы) в слое 0-20 см

Почвы	Бактерии		Споровые бактерии	Нитрификаторы (общ. количество в 1 г почвы)	Аммонификаторы	Азот-бактерии
	выросшие на МПА	на КПА				
		общ. кол-во	актино-мицеты			
<i>Почвы Сарненской станции</i>						
Целина	1,5	15,8	7,4	0,5	не обнаружено	87,5
в культуре с 1936 г.	28,6	34,7	1,7	0,8	550	308
<i>Лесостепь (Панфильское опытное поле)</i>						
Целина	67,8	80,9	6,7	2,1	1100	176
в культуре с 1938 г.	52,4	15,4	14,0	4,9	5600	8,4

Таблица 2.17

Содержание подвижных нитратов и фосфатов в торфяных почвах (среднее из трех определений)

Почвы	Глубина отбора образцов, см	Содержание NO ₃ , мг / 100 г	Содержание P ₂ O ₅ (мг/100 г почвы)	
			кислоторастворимого	по Мачигину
<i>Полесье, почвы Сарненской станции</i>				
Целина в культуре с 1914г.	0-20	4	10	-
	40-60	Не обнаружено	-	-
	0-20	12	20	-
	40-60	следы	-	-
<i>Лесостепь (Панфильское опытное поле)</i>				
Целина в культуре с 1936 г.	0-20	16	-	67
	40-60	27	-	54
	0-20	1222	-	44
	40-60	225	-	119

Таким образом, в естественных условиях Лесостепи вследствие биологической трансформации валового азота торфа в доступные для растений формы (соединения) их может накопиться гораздо больше, чем можно добыть под действием некоторых химических реагентов. Это подтверждается

также данными о динамике подвижных веществ в торфяных почвах реки Оржица в опыте с кукурузой (табл. 2.18).

Таблица 2.18

**Динамика нитратов в 0-15 см слое торфяной почвы Лесостепи
(пойма р. Оржица в течение вегетационного периода)**

Внесение удобрений		Содержание нитратов (мг / 100 г почвы)			
1963	1964	28.06	21.07	20.08	10.09
Многолетние травы					
Без удобрений (контроль)		53,6	289,1	255,6	124,7
K ₂ O – 120 кг/га		Не удобрялись			
K ₂ O – 120 кг/га + P ₂ O ₅ – 45 кг/га		13,2	13,1	108,8	133,0
Кукуруза					
Без удобрений (контроль)		230,8	984,5	778,9	496,3
K ₂ O – 120 кг/га		K ₂ O 120 кг/га			
K ₂ O – 120 кг/га + P ₂ O ₅ – 45 кг/га		174,6	694,3	102,2	397,4

Как и в почве Панфильского исследовательского болотного поля поймы р. Супой, так и в пойме р. Оржица процессы нитрификации протекают очень интенсивно, и в 1 кг торфяной почвы накапливается до 1000 мг NO₃. Под пропашными культурами они протекают более интенсивно, чем под пластом многолетних трав.

При благоприятном температурном режиме, в частности в среднем для Полесья года, в осушенных торфяниках, особенно в первые 5–10 лет их сельскохозяйственного использования, могут иметь место «возмущения» минерализационных процессов, и тогда в отдельных почвах может накапливаться относительно большое количество подвижных форм азота, особенно аммиачного и даже нитратного. Однако в годы с избыточным увлажнением, даже в старопахотных окультуренных торфяных почвах Полесья, особенно в задернованных, интенсивность процессов минерализации проходит настолько слабо, что возникает необходимость (как и в первые годы освоения слабо гумифицированных торфяных почв) применения навоза или минерального азотного удобрения. В подтверждение приведем данные о зависимости процессов нитрификации от продолжительности сельскохозяйственного (земледельческого) использования низинной торфяной почвы Полесья (табл. 2.19).

Таблица 2.19

**Динамика накопления нитратов в старопахотной и заново
освоенной торфяной почве Полесья (Сарны, Ровенской области)**

Почвы	Глубина отбора образца, см	Содержание нитратного азота (мг / 100 г воздушно-сухого торфа)		
В культуре с 1914 г.	0-5	29	24	76
	5-15	21	25	20
	15-25	0	23	22
Торфяник, распахан в 1947 г.	0-5	157	217	127
	5-18	148	209	281
	15-25	100	95	258

Приведенные данные (табл. 2.19) показывают, что слабое протекание процессов нитрификации в старопахотном торфянике является следствием многих лет возделывания. В хорошо аэрированном пахотном горизонте легко доступные процессам минерализации азотные органические соединения в значительной степени уже исчерпаны. В таком торфе остались только соединения, трудно поддающиеся процессам разложения.

Если при освоении слабо гумифицированных торфяных почв сначала необходимо их первичное «парование», то после этого со временем подвижность азота торфа уменьшается, так как в составе его органической части остаются только те соединения, которые трудно поддаются дальнейшему разложению. Указанные различия в минерализационной податливости торфа Лесостепи и Полесья Украины, обусловленные как генетическими их свойствами, так и температурными условиями, необходимо учитывать при разработке и осуществлении мероприятий активизации (или замедления) для рационального использования азота – основного богатства этого природного образования, выборе норм осушения-орошения, насыщения посевов пропашными культурами, количества и глубины рыхления почвы за вегетационный период.

Для характеристики доступности азота торфа растениям из разных по генезису и свойствам торфов Украины без предварительной их подготовки (компостирования) нами взято 5 разновидностей:

- зеленый гипновый мох из соснового бора Дубновского района Ровенской области;
- сильно гумифицированный с месторождения «Столбец» (того же района);
- средне гумифицированный с месторождения «Куколка» Конотопского района Сумской области;

- слабо гумифицированный торф с месторождения «Бездна» Ровенского района;
- сильно гумифицированный торф с поймы р. Оскол, Купянского района Харьковской области.

Исследуемые торфа отличаются по степени гумификации (от 22 до 83 %), содержанием азота (от 0,60 до 2,73 %), фосфора (0,38 до 0,71%) и калия (0,02–0,38 %). Все они, за исключением мха и сильно гумифицированного торфа из урочища «Столбец», имеют нейтральную или слабо щелочную реакцию.

С целью исследования влияния предварительного компостирования средне и сильно гумифицированного торфа на активирование азота и усвоения его растениями нами был проведен вегетационный опыт, в котором в качестве азотного удобрения вносили средне и сильно гумифицированный торф, предварительно выдержанный в термостате в течение трех месяцев при температуре 25–30 °С.

Приготовление компостов с добавлением к торфу минеральных и органических удобрений (навоза) широко применяется на практике. Что касается изготовления компостов с кальцийсодержащими соединениями (известью, гипсом), то этот вариант был включен в схему опыта на основании данных, полученных в предыдущих наших исследованиях.

При изучении различных способов подготовки торфяной почвы было установлено, что компостирование торфа с гипсом (щелочной и слабощелочной реакции) увеличивает в нем количество нитрифицирующих бактерий и содержание продуктов их жизнедеятельности – нитратов. Исходя из этого, а также из литературных данных о способности микроорганизмов мобилизовать резервы плодородия (в том числе черноземов), в основном валовые запасы азота под действием кальцийсодержащих соединений, последний и был включен как компонент приготовления торфокомпоста.

Взятые для компостирования торфа были близки по высоким степеням разложения и по физико-химическим свойствам (слабо щелочным показателем рН).

Внесение сильно и слабо гумифицированного торфа как источника азотного питания растений в количествах, выравненных по азоту (по 0,9220 г на сосуд), свидетельствует о том, что со слабо гумифицированного торфа растения усваивали азота больше, чем из сильно гумифицированного. Все они были использованы в качестве азотного удобрения растений овса в вегетационных сосудах с дерново-песчаной почвой, сначала в одинаковых весовых количествах (по 75 г торфа на 3,5 кг почвы), а затем – в количествах, выравненных по азоту (по 0,92 г азота) на такое же количество почвы в сосуде.

Наибольшее количество азота торфа (в абсолютных и относительных показателях) усвоено растениями овса в VI варианте опыта, где в качестве азотного удобрения был внесен слабо разложившийся торф из урочища «Бездна». Наименьшее количество азота было усвоено овсом в V варианте, где вносили сильно разложившийся торф из урочища «Столбец» (табл. 2.20).

Таблица 2.20

Данные об урожае овса по вариантам вегетационного опыта и усвоение растениями азота

Варианты опыта	Общий урожай овса	Количество азота (г)			Количество усвоенного азота торфа, % от внесенного
		Внесены с торфом	Вынесено с урожаем	Усвоено	
I. Почва без внесения торфа (контроль)	4,74	-	0,0602	-	-
II. КР по 1 г действующего вещества на 1 кг почвы	5,52	-	0,0471	-	-
III. НРК по 0,1 г действующего вещества на 1 кг почвы	16,61	-	0,0676	-	-
IV. КР + зеленый мох	9,98	0,7845	0,0920	0,0449	5,723
V. КР + торф из урочища «Столбец»	7,06	2,0503	0,0783	0,0312	1,521
VI. КР + торф из урочища «Бездна»	10,49	0,4620	0,1341	0,0870	18,831
VII. КР + торф из урочища «Куколка»	13,44	1,8142	0,1548	0,1077	5,936
VIII. КР + торф из урочища «Кучеровка»	7,76	1,7790	0,0867	0,0306	2,223

Основными задачами, стоящими и сейчас перед наукой и практикой сельскохозяйственного использования торфяников, их верхней части – торфяных почв, а также при использовании торфа как удобрения, являются:

1. Разработка методов и мероприятий эффективного регулирования процессов минерализации в торфе и почвах на различных этапах освоения и использования исходя из генетических свойств осу-

шенных торфяников и их почвенного покрова в Полесье и Лесостепи Украины с целью интенсификации или же, наоборот, замедления процессов.

2. Изобретение новых, более действенных, методов активизации, подготовки и использования валовых запасов азота торфа для изготовления органических удобрений.

Из литературных данных и результатов собственных исследований известно, что в условиях Лесостепи Украины может иметь место избыточное накопление соединений азота в торфяных почвах (как нежелательное).

Кроме того, под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов в этих почвах (и залежах) может накапливаться больше подвижных соединений азота, чем его можно добыть даже под действием искусственного химического воздействия.

Исходя из этого, очевидно, следует помнить, что наиболее перспективным в этом отношении является путь активизации азота торфа через интенсификацию микробиологических процессов, в том числе термофильных. Последние как фактор влияния наименее изучены [7].

В качестве минеральных добавок к торфу при компостировании могут быть использованы кальцийсодержащие вещества (известь, гипс и др.), которые значительно активизируют микробиологические процессы и, как следствие, способствуют росту подвижности азота торфа (с изменением реакции среды).

И, наконец, одной из причин низкой эффективности торфов, применяемых в качестве удобрений, является то, что с этой целью во многих случаях используется не торф – почва, то есть верхний торфогенный 40–60 см слой, а торфогенная порода, которую добывают из большей глубины и в которой отсутствуют группы полезных микроорганизмов: азотобактер, аммонификаторы, нитрификаторы (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Состав торфов, использованных в качестве удобрений без предварительной подготовки для вегетационного опыта

Торфа	Значение pH		Состав торфа, %			Содержание валовых, %		
	водной вытяжки	солевой вытяжки	гумифицированная часть	растительные остатки	минеральная часть	азота	фосфора	калия
Зеленый мох	5,8	5,6	2	90	8	1,05	0,38	0,36
Торф с урочища «Столбец»	5,0	5,0	78	14	8	2,73	0,37	0,02
Торф с урочища «Бездна»	7,8	7,8	22	75	3	0,62	0,71	0,07
Торф с урочища «Куколка»	7,1	7,2	46	11	7	2,42	0,59	0,08
Торф с урочища «Кучеровка»	7,6	7,3	83	46	6	2,37	0,79	0,08
Почва, взятая для вегетационных сосудов	5,0	4,2	0,3	-	-	0,01	0,08	0,04

Лучше усваивался азот торфа при компостировании его вместе с минеральными удобрениями и навозом. Применение при компостировании вместе с минеральными удобрениями гипса способствовало увеличению усвоения азота растениями (VI–VII варианты).

В VIII и IX вариантах хотя и имело место увеличение усвоения из компостированного торфа с минеральными удобрениями, навозом и гипсом, однако оно намного отставало от усвоения азота из торфа, компостированного только с навозом. Очевидно, в данном случае имеет место явление, когда процессы минерализации протекают замедленно, что можно объяснить созреванием этого компоста под влиянием биологической сорбции азота.

Регулирование накопления подвижного азота в торфяных почвах можно осуществлять чередованием выращивания культур сплошного сева и пропашных, изменением уровня грунтовых вод, набором и количеством мероприятий обработки поверхности почвы.

Рациональное использование азота торфа – важная проблема, в том числе земледелия, на мелиорированных торфяно-болотных почвах.

В таблице 2.22 приведены данные об усвоении азота с компостированного торфа и урожайности растений при внесении его в качестве органического удобрения в минеральную почву самостоятельно и вместе с калийно-фосфорными минеральными удобрениями. Очевидность такого компостирования и использования торфа как удобрения на минеральных почвах не вызывает ни малейшего сомнения, особенно в Полесье. Его надо обязательно шире внедрять в практику земледелия.

Урожай растений овса и усвоение им азота с компостированных торфов в вегетационного опыте

Варианты опыта	Урожай общей массы, г	Внесение азота с торфом, г	Вес зерна, г	Содержание азота в зерне, г	Вынесено азота урожаем зерна, г	Вес соломы, г	Содержание азота в соломе, г	Вынесено азота урожаем, г	Вынесено азота урожаем зерна и соломы, г	Усвоено растениями азота из торфа	
										г	г, на сухое вещество
I. Песчаная почва + КР (контроль)	12,07	0,92	2,37	2,01	0,0476	9,70	0,54	0,0524	0,1000	-	-
II. Почва + КР + торф, компостный с водой, средне гумифицированный	13,39	0,92	2,87	2,07	0,0594	10,52	0,72	0,0757	0,1346	0,0346	5,828
III. Почву + КР + торф, компостный с водой, сильно гумифицированный	13,75	0,92	2,87	2,22	0,0687	10,88	0,60	0,0653	0,1270	0,0270	4,459
IV. Почва + КР + торф, компостный с навозом, средне гумифицированный	18,45	0,92	3,36	2,25	0,0756	15,09	0,68	0,1026	0,1782	0,0782	12,410
V. почва + КР + торф, компостный с навозом, сильно гумифицированный	14,05	0,92	3,23	0,0672	10,81	0,59	0,0638	0,1310	0,1310	0,0310	5,289
VI. Почва + КР + торф, компостный с гипсом, средне гумифицированный	16,76	0,92	3,38	2,28	0,0770	13,38	0,54	0,0722	0,1492	0,0492	8,181
VII. Почва + КР + торф, компостный с гипсом, сильно гумифицированный	16,73	0,92	3,59	2,10	0,0754	13,14	0,59	0,0775	0,1529	0,0529	8,855
VIII. Почва + КР + торф, компостный с гипсом, средне гумифицированный	14,61	0,92	3,18	2,17	0,0690	14,77	0,51	0,0753	0,1443	0,0443	7,415
IX. Почва + КР + торф, компостный с навозом и гипсом, сильно гумифицированный	15,11	0,92	3,44	2,27	0,0781	11,67	0,63	0,0735	0,1516	0,0316	8,468
X. Песчаная почва + КР + навоз	14,9	0,92	3,30	2,40	0,0792	11,19	0,84	0,0940	0,1732	0,0702	12,014

2.5.2. Режим фосфора. По содержанию валовых запасов фосфора торфяные почвы Полесья и Лесостепи Украины очень пестрые. Больше всего фосфора содержится в вивианитовых торфах. Около 2/3 общего фосфора в торфяных почвах представлено органическими формами и другими трудно-растворимыми соединениями и менее 1/3 – минеральными формами (табл. 2.23).

В составе минеральных фосфатов в целинных торфах и торфяных почвах преобладают фосфаты кальция. Их больше в карбонатных торфяных почвах Лесостепи, чем в почвах Полесья. В вивианитовых торфяниках фосфаты аккумулируются в значительных количествах в форме фосфатов железа или алюминия. Это видно на примере данных, приведенных в таблице 2.24.

Таблица 2.23

**Содержание валового, минерального и органического фосфора
в профилях целинных торфяных почв Полесья и Лесостепи Украины**

Место отбора образцов	Глубина, см	Валовый фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	В т.ч. % от валового содержания фосфатов			Отношение органических фосфатов к минеральным
			минеральные	органические	в остатке	
<i>Полесье</i>						
Цирская осушительная система	0-27	2370	11,3	20,7	67,9	1,9
	27-50	1660	10,9	15,9	73,2	1,4
	50-70	1380	9,6	14,1	76,3	1,5
Турская осушительная система	0-25	2990	17,1	20,6	62,2	1,2
	25-30	1430	20,1	19,9	60,1	0,9
<i>Лесостепь</i>						
Сульское БОП	0-25	2810	15,9	11,4	73,4	0,8
	30-50	3824	26,8	22,4	51,0	0,8
	75-80	922	44,4	27,5	28,1	0,6
Пойма р. Оржица	0-30	4492	31,1	26,6	42,3	0,8
	45-60	5068	31,6	14,0	54,5	0,4

Таблица 2.24

**Формы минеральных фосфатов, определенные в торфяных почвах
(по методу Чанга-Джексона)**

Место отбора образцов	Глубина, см	% от суммы минеральных			
		водорастворимые	Al - фосфаты	Fe- фосфаты	Ca - фосфаты
<i>Полесье</i>					
Без удобрений в луговых севооборотах	0-15	7,2	9,4	20,3	62,9
	15-30	9,2	10,2	16,7	63,2
	30-45	7,0	7,1	22,3	62,8
Ежегодное внесение калийно-фосфорных удобрений	0-15	11,2	17,0	18,1	54,0
	15-30	15,8	14,2	11,2	58,9
	30-45	15,4	12,1	18,4	54,9
<i>Лесостепь</i>					
Без удобрений в луговых севооборотах	0-30	3,4	13,0	16,7	66,7
Длительное использование почв с внесением калийно-фосфорных удобрений	0-27	5,4	10,2	19,2	65,8
	35-55	2,1	10,7	19,5	65,8
	90-10	4,0	14,7	16,4	65,0

С окультуриванием общее содержание фосфора в верхних горизонтах торфяных почв растет за счет биологической аккумуляции. Интенсивное использование торфяно-болотных почв, получение на них высоких урожаев способствуют накоплению подвижных форм фосфатов, уменьшению количества фосфатов кальция в пахотном слое. Для получения высоких урожаев на торфяных почвах необходимо применять не только фосфорные, но и одновременно калийные удобрения: в одних случаях – с целью увеличения содержания доступных для растений фосфатов, в других – для поддержания и сбалансирования общего уровня питания растений на фоне обеспечения их азотом и калием (внесенных в качестве удобрения).

2.5.3. Режим калия. Калий как элемент питания растений в исследуемом торфе и торфяных почвах присутствует в минимуме. Общее содержание калия в них в пределах 0,09 % – на Полесье и 0,1–0,3 % в Лесостепи.

При незначительном содержании калия в этих почвах он очень подвижен (табл. 2.25). Органическая часть твердой фазы торфа не создает с калием устойчивых соединений, поэтому калий в этих почвах аккумулируется в незначительных количествах (табл. 2.25), а имеющиеся его запасы используются одним или несколькими урожаями.

Длительное земледельческое использование и систематическое внесение калийных удобрений способствует некоторому увеличению содержания калия в этих почвах (параллельно) с увеличением их зольности. Но и при длительном использовании торфяные почвы не обеспечивают требований растений в калии без систематического его внесения (пополнения).

Содержание калия в торфяных почвах Полесья и Лесостепи Украины

Место взятия образцов почвы	Глубина, см	Содержание калия, мг/кг				Содержание в 20 см слое, кг/га		Соотношение подвижного к валовому, %
		валового	обменного	водо-растворимого	необменного	валового	обменного	
<i>Полесье</i>								
Сарненская НИС (целина)	0-20	830	80	50	700	573	58	16
	40-60	870	23	56	791	-	-	9
	80-100	870	23	56	621	-	-	11
<i>Лесостепь</i>								
Панфильская НИС (целина)	0-25	2362	281	48	2033	1936	270	14
	40-60	868	192	70	606	-	-	30
	80-100	843	89	150	604	-	-	28

2.5.4. Режим меди. Медь – важный и необходимый микроэлемент для получения высоких и хорошего качества урожаев на торфяных почвах. Без ее внесения в форме медного купороса (25 кг/га) или пиритных огарков (4–5 ц/га) раз в 4–5 лет злаковые растения не образуют зерна, другие же недоразвиваются и повреждаются грибковыми болезнями. Валовые запасы меди в торфяных почвах Украины приведены в таблице 2.26.

Таблица 2.26

Общее содержание меди в торфо-болотных почвах Полесья и Лесостепи Украины*

Почвы	Общее содержание меди	
	мг/кг	кг/га
Торфяные, глубокие, средне-глубокие, карбонатные (Лесостепь)	<u>4,96</u> 0,98-9,25 (13)	<u>4,75</u> 0,75-7,10
Торфяно-болотные, глеевые (Лесостепь)	<u>9,57</u> 4,01-15,60 (7)	<u>10-96</u> 4,59-17,87
Торфяные, глубокие и средне-глубокие (Полесье)	<u>3,50</u> 1,39-6,17 (10)	<u>1,52</u> 0,59-2,69
Торфяно-болотные глинистые (Полесье)	<u>6,89</u> 3,65-9,78 (4)	<u>4,64</u> 2,46-6,53

Примечание: * Числитель – среднеарифметическое значение определений, знаменатель – верхняя граница колебаний определений; в скобках – количество определений.

Медь как тяжелый металл образует комплексные соединения с органическими веществами, поэтому в исследуемых торфяных почвах она мало подвижна и мало доступна растениям.

Содержание подвижной меди определялось 0,02 раствором трилона «Б». В таблице 2.27 приведены средние показатели наличия подвижных соединений меди в верхнем 0-20 см горизонте исследуемых почв и его предельные отклонения.

В карбонатных торфах и торфяных почвах медь менее доступна растениям, чем в некарбонатных, в щелочных – менее, чем в кислых.

В литературе приводятся данные о зависимости между наличием в торфяных почвах меди и необходимостью применения на них медных удобрений. На торфах, pH которых выше 5, применение меди более эффективно. Исходя из этих данных, можно сделать вывод о том, что большинство торфяных почв Полесья, со слабокислой реакцией и средним содержанием меди 3,5 мг/кг, меньше требует внесения медных удобрений, а лесостепные – больше.

Все мелиоративные и агротехнические мероприятия к исследуемым торфяным почвам необходимо применять с учетом свойств этих почв. К этим же приведенным характеристикам нужно показывать химический состав, физические, водно-физические свойства и питательные режимы выработанных, горелых и других видов измененных под влиянием человеческой деятельности торфяников с целью их окультуривания, вторичного формирования плодородия регенерированной почвы.

**Содержание подвижных соединений меди в верхнем 0-20 см горизонте
органогенных почв Полесья и Лесостепи Украины**

Почвы	Подвижные соединения меди	
	мг / кг	кг / га
Торфяные, глубокие, средне-глубокие, карбонатные (Лесостепь)	<u>1,38</u> 0,09-5,21 (18)	<u>1,05</u> 0,07-4,00
Торфяно-болотные глеевые (Лесостепь)	<u>3,05</u> 0,76-6,33 (8)	<u>3,49</u> 0,87-7,25
Торфяные глубокие и средне-глубокие (Полесье)	<u>0,64</u> 0,30-1,68 (14)	<u>0,27</u> 0,13-0,73
Торфяно-болотные (Полесье)	<u>1,43</u> 1,21-1,67 (5)	<u>0,96</u> 0,81-1,13

**2.6. Выработанные торфяники Полесья, Лесостепи и Прикарпатья
как объект ренатурализации**

Изучение выработанных торфяников с целью разработки и совершенствования практических рекомендаций по их рекультивации и сельскохозяйственного освоения является одной из важных задач, от решения которых зависит рациональное использование земель в целом [35, 31].

Мы подробно обследовали характерные выработанные торфяники Западного Полесья, Лесостепи и Прикарпатья Украины путем закладки разрезов на массивах, разных по давности освоения, степени окультуренности и обводнения, а также по толщине слоя остаточного торфа (табл. 2.28). Всего обследовано 23 выработанных торфяника, в том числе Чемерное Сарненского района Ровенской области (Волыньское Полесье), Лопатинский массив Радеховского района Львовской области, Вербя и Стрелка Дубновского района Ровенской области (Малое Полесье), Любинь Великий Городоцкого района Львовской области (Лесостепь), Воля Баранецкая Самборского района Львовской области (Прикарпатье) и др.

Разрезы закладывали в характерных местах массивов до минерального дна, а для сравнения, на невыработанных участках – до грунтовых вод. Описание разрезов проводили по генетическим горизонтам. С середины каждого горизонта отбирали образцы для определения физических, химических и водных свойств исследуемых почв. Анализы проводили общепринятыми методиками [31, 35].

Таблица 2.28

Химическая характеристика остаточного торфа выработанных и невыработанных торфяников

Торфомассив	Горизонт, см	рН солевой	Содержание валовых форм, % от веса сухого торфа			
			N	P	K	Ca
Чемерное	0-45	4,8-5,6	2,5-2,7	0,1-4,7	0,01-0,04	0,3-2,3
	0-110	4,8-5,0	2,9-3,0	0,5-0,8	0,03-0,06	0,4-1,6
Лопатинский	0-35	5,8-7,3	2,5-2,6	0,1-0,2	0,02-0,20	0,5-0,6
	0-90	5,4-5,9	2,8-3,1	0,1-0,2	0,009-0,03	1,1-1,5
Вербя	0-50	5,6-6,3	0,1-0,4	0,01-0,03	0,009-0,04	2,3-3,0
	0-70	6,2-6,8	1,5-2,6	0,02-0,2	0,01-0,05	0,4-1,8
Стрелка	0-32	6,3-6,8	0,2-3,2	0,2-0,4	0,04-0,10	0,1-1,2
	0-85	6,4-6,6	0,2-2,8	0,06-0,3	0,03-0,08	3,4-4,2
Любинь Великий	0-55	2,9-4,1	2,7-2,8	0,05-0,2	0,02-0,10	0,1-0,2
	0-150	3,8-4,3	2,5-2,7	0,09-0,1	0,01-0,05	0,2-0,9
Воля Баранецкая	0-60	3,1-5,5	1,9-2,2	0,09-0,2	0,05-0,09	0,3-7,4
	0-100	3,7-4,0	2,0-2,1	0,1-0,2	0,09-0,1	0,8-6,8

Из таблицы 2.28 видно, что по химическим свойствам выработанные торфяники достаточно неоднородны. Чаще всего они бывают слабокислые и нейтральные, но такие торфяники, как Любень Великий и Воля Баранецкая, имеют очень кислую реакцию среды, которая присуща почвам Прикарпатья.

Содержание валового азота нередко выше в почвах невыработанных торфяников, а зольных элементов в них содержалось меньше, что объясняется накоплением зольных элементов в нижних горизонтах торфяников в процессе их формирования.

Выработка торфа на обследуемых массивах проводилась машинно-формовочным и фрезерным способами. Глубина остаточного торфа изменяется в довольно значительных пределах и зависит не только от способа выработки, но и от рельефа минерального дна. Чаще всего она бывает 0,05–0,5 м, но местами торф выбирается полностью.

По данным С. Н. Тюремнова [18], к неглубоким выработанным торфяникам мы относили торфяники со слоем остаточного торфа до 25 см, к среднеглубоким – со слоем от 25 до 50 см и до глубоких – со слоем более 50 см.

Как установлено этими исследованиями, физические свойства слоев торфяников резко менялись по профилю (табл. 2.29). Данные таблицы 2.29 свидетельствуют о том, что плотность всех выработанных торфяников увеличивается с глубиной: в торфяных горизонтах от 0,104 до 0,324 г/см³. На торфомассиве Верба плотность верхнего горизонта выработанного торфяника достигает 0,454 г/см³ за счет примеси песка и ракушек. В контактных горизонтах (обогащенные органическим веществом минеральные почвы, разделяют две породы – органическую и минеральную), она была достаточно высокой и изменялась от 0,909 до 1,668 г/см³, что обуславливалось их составом, степенью гумусированности и сложением. В подстилающих торф породах всех массивов плотность составляла 1,371–1,695 г/см³. Плотность невыработанных торфяников была значительно ниже и изменялась от 0,093 до 0,184 г/см³, а в торфомассивах Верба и Стрелка – значительно выше, что обусловлено карбонатностью и повышенной зольностью торфов.

Плотность твердой фазы выработанных торфяников, как и плотность почвы, увеличивается с глубиной. В торфяных горизонтах она составляла 1,46–2,22 г/см³, в контактных – 2,22–2,62 г/см³, а на подстилающих породах достигала 2,58–2,78 г/см³.

Таблица 2.29

Физические свойства почв выработанных торфяников

Торфомассив	Горизонт, см	Плотность, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Степень разложения растительных остатков, %
Чемерное	0-14	0,265	1,70	36,5
	14-27	0,184	1,59	29,1
	27-47	0,257	1,89	39,1
	47-52	0,961	2,22	-
	52-60	1,619	2,58	-
Лопатинский	0-20	0,134	1,57	39,9
	20-35	0,132	1,46	32,1
	35-48	1,668	2,62	-
	48-60	1,695	2,68	-
Верба	0-20	0,454	2,08	68,6
	20-40	0,324	2,07	56,4
	40-52	1,457	2,46	-
	52-70	1,696	2,67	-
Стрелка	0-18	0,250	1,75	39,8
	18-38	0,698	2,12	48,6
	38-50	0,650	2,01	-
	50-62	1,379	2,78	-
Любень Великий	0-10	0,106	1,59	28,6
	10-40	0,629	2,22	35,8
	40-55	1,607	2,62	-
	55-80	1,694	2,60	-
Воля Баранецкая	0-10	0,107	1,77	36,3
	10-20	0,104	1,56	22,54
	20-68	0,112	1,80	18,9
	68-72	0,909	2,57	-
	72-85	1,371	2,65	-

Изменение плотности твердой фазы обусловлено значительными колебаниями зольности выработанных торфяников. В таких торфомассивах, как Черемное, Лопатинский и Воля Баранецкая, зольность остаточного торфа составляет 6,9–29,5 %, а в торфомассивах Верба и Стрелка – 25,2–89,9 %. Плотность твердой фазы невыработанных торфяников достаточно однородна – 1,34–1,68 г/см³.

Общая пористость выработанных торфяников с глубиной резко уменьшается, но в верхних горизонтах большинства торфомассивов она была достаточно высокой (81,8–94,0 %) и близкой к пористости выработанного торфа. На торфомассивах Черемное, Верба и Воля Баранецкая она увеличивается с глубиной, объясняется это разными причинами: наличием в остаточном торфе растений-торфообразователей, степенью их гумификации, плотностью торфяника и другими показателями. Водно-физические свойства почвы исследуемых массивов изображены на рисунке 2.3.

Хотя степень разложения донного торфа достаточно высока (до 56 %), нами обнаружена значительная разница в пористости контактных горизонтов выработанных торфяников (31,6–64,7 %) и минеральной подстилающей породы, что указывает на плотное строение ее вследствие значительной оглеенности.

В почвах всех торфомассивов максимальная гигроскопичность уменьшается с глубиной. В торфяных горизонтах она была достаточно высокой и колебалась от 18,6 до 46,8 %. В контактных горизонтах гигроскопичность составляла всего 5,9–7,9 %, а в минеральных подстилающих породах 0,7–1,9 %. На величину ее в контактных горизонтах влияет степень гумусированности: чем больше гумуса содержалось в этом слое, тем выше была максимальная гигроскопичность. В невыработанных торфяниках по всему профилю она оказалась высокой и составила 24,4–46,8 %.

Мертвый запас влаги в торфяных почвах определяли умножением величины максимальной гигроскопичности на 3, а в минеральном – на 2. Полученные результаты свидетельствуют о том, что мертвый запас влаги в невыработанных торфяниках и остаточном торфе выработанных значителен, особенно в таких торфомассивах, как Черемное, Лопатинский, Воля Баранецкая, и составил 90–100 %.

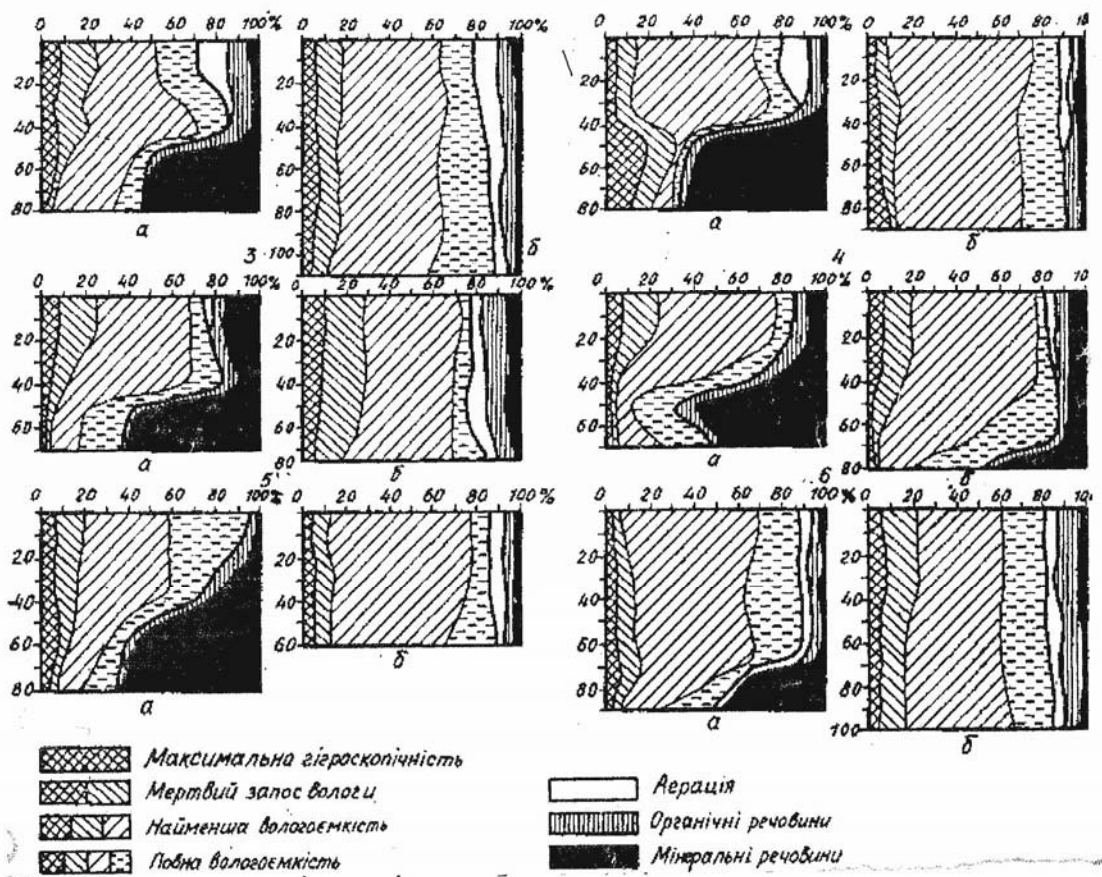


Рис. 2.3. Водно-физические свойства почв выработанных (а) и невыработанных (б) торфяников
1 – Черемное; 2 – Лопатинский; 3 – Верба; 4 – Стрелка; 5 – Любень Великий; 6 – Воля Баранецкая

Полная влагоемкость исследуемых почв резко уменьшается с глубиной при переходе от торфяных горизонтов к минеральным. Высокими показатели ее были в выработанных торфяниках Воля Баранецкая (44,3–81,9 %) и Лопатинский (66,2–68,9 %). Полная влагоемкость контактных горизонтов зависит от степени гумусированности и находится в пределах от 21,8 до 96,1 %, а минеральных подстилающих пород – 19,1–29,8 %. В невыработанных торфяниках полная влагоемкость была достаточно высокой (31,0–100 %), особенно в торфяниках Лопатинский (65,1–100 %) и Любень Великий (67,1–78,8 %).

Наименьшая влагоемкость выработанных торфяников меняется с глубиной, как и полная. Для выработанного торфяника она составила 17,7–34,1 % для торфяных горизонтов и 21,0–43,0 % для контактных и минеральных.

Важным показателем физических свойств почвы является степень ее аэрации. На рисунке 2.3 видно, что пористость, от которой зависит аэрация почвы, была очень низкой. Но в почвах таких массивов, как Черемное и Воля Баранецкая, она оказалась выше. В невыработанных торфяниках аэрация верхних горизонтов меняется в достаточно широких пределах: от 10,6 до 63,3 %.

В целом установлена четко выраженная зависимость физических свойств выработанных торфяников от глубины остаточного торфа (табл. 2.30).

Таблица 2.30

Физические свойства выработанных торфяных почв (торфомассив Черемное)

Выработанный торфяник	Горизонт, см	Плотность, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Пористость, %	Зольность, %	Степень разложения, %
Неглубокий (5-10 см)	0-5	9,558	2,51	73,9	79,2	-
	5-12	0,892	2,28	60,8	89,2	-
	12-30	0,982	2,70	68,6	99,0	-
Среднеглубокий (до 28 см)	0-12	0,268	1,82	85,3	42,1	56,2
	12-23	0,144	1,51	90,5	19,7	35,4
	23-28	0,691	2,03	65,9	83,5	-
	28-32	1,520	2,39	36,5	93,4	-
	32-56	1,680	2,45	31,4	99,5	-
Глубокий (до 100 см)	0-8	0,257	1,44	82,1	25,3	38,2
	8-18	0,186	1,58	88,2	19,8	35,8
	18-28	0,194	1,45	86,6	25,2	39,1
	28-62	0,223	1,67	86,9	15,6	25,4
	62-72	0,828	2,77	70,0	29,0	-
	72-100	0,936	2,37	65,1	96,2	-

Нижние слои профиля невыработанных торфяников существенно не отличаются по водно-физическим свойствам от свойств верхних слоев среднеглубоких и глубоких выработанных торфяников. Это дает возможность прогнозировать мелиоративные и агротехнические мероприятия при рекультивации еще до выработки торфа, отбирая и анализируя образцы до минерального дна.

2.6.1. Рекультивация и использование торфяников в СЗР Украины. В связи с расширением использования торфа в народном хозяйстве (удобрение, топливо, сырье для промышленности и т. п.) актуальным является вопрос возвращения к использованию угодий выработанных торфяников, площади которых ежегодно увеличиваются [24, 19, 18, 36, 29, 7, 37, 20].

В зависимости от организации добычи торфа различают торфяники, выработанные ручным, фрезерным и машинно-формовочным способами. Большинство из них используют как малопродуктивные луга и пастбища, под рыбные пруды, для лесоразведения и т. п. На отдельных торфяных карьерах в результате неблагоприятного и недостаточного водно-воздушного режима почвы происходит процесс вторичного заболачивания.

Свойства выработанных торфяников определяются генетическими особенностями конкретного торфомассива и способами добычи торфа. Общим является то, что их профиль состоит из верхнего торфяного слоя, переходного к минеральной породе – контактного горизонта и минеральной подстилающей породы, которые значительно отличаются по своим свойствам, и прежде всего водно-физическим. Выработанные торфяники имеют низкую биологическую активность и недостаточное содержание питательных веществ.

Восстановление хозяйственной ценности торфяных карьеров включает два этапа: инженерную рекультивацию и биологическую, то есть окультуривание. Первая – это комплекс мер технической подготовки карьеров к использованию. Сюда относятся предварительное осушение, удаление кустарников, пней, камней и другие культуртехнические работы, которые заканчиваются планированием поверхности и нарезкой постоянной осушительной сети.

Окультуривание – это восстановление биологической активности и активизация почвенных процессов в остаточных слоях торфа и подстилающей породе.

Оптимальные для растений условия водно-воздушного, питательного и теплового режимов создаются при толщине остаточного слоя торфа 50–60 см.

В первые годы окультуривания необходимо интенсивно обрабатывать выработанные торфяники с целью улучшения аэрации и усиления биохимических процессов (активизации жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, окисления соединений и т. д.). Со временем, когда на таких торфяниках весь комплекс почвообразующих процессов, характерный для полнопрофильных торфяных почв, активизируется, на первый план выступает задача рационального использования плодородия, в том числе сохранения органического вещества.

В торфокарьерные почвы в первые годы освоения необходимо вносить повышенные по сравнению с полнопрофильными нормы удобрений, включая азотные, и выращивать неприхотливые культуры (картофель, овес и др.). Позже удобрения и ассортимент культур на выработанных торфяниках будут аналогичными полнопрофильным торфяным почвам.

2.6.2. Рекультивация горелых торфяников. Большой вред земледелию на торфяных почвах наносят пожары. Они лишают полеводство значительных площадей, измеряемых иногда сотнями гектаров. На Правобережье Украины горелые торфяники в основном имеют кислую реакцию, содержат разные количества минеральных соединений (азота – 0,1–0,09, калия – 2–12, фосфора – 5–30, железа – 8,8–8,7 мг), а зольность достигает 90 %. Горелый торф характеризуется не только малым содержанием питательных веществ, но и неустойчивым водным режимом.

В результате многочисленных исследований установлено, что такие площади можно вернуть в сельскохозяйственное использование после окультуривания. Способ последнего определяется глубиной горелого слоя. Если он не превышает 20 см, то это удастся сделать с применением безотвальной вспашки на глубину 30–35 см, проводимой в любое время летом или осенью. Такая вспашка хорошо перемешивает горелый торф с негорелым, а небольшие нормы всех видов минеральных удобрений ($N_{45} P_{45} K_{45}$) создают удовлетворительный питательный режим, который позволяет собирать по 50–60 ц/га сена всех видов многолетних злаковых трав в течение 2–3 лет (при ежегодном удобрении). Более высокие нормы не всегда полезны. Под их влиянием во время засух растения могут подгорать, погибать [24].

Если толщина слоя горелого торфа более 40 см, почву можно окультурить плантажной вспашкой на глубину, превышающую толщину горелого слоя на 10–15 см.

Применив периодическую безотвальную вспашку на 27–35 см (раз в 3–4 года), ежегодное внесение в первые три года фосфорно-калийных удобрений из расчета $P_{45} K_{90}$, а в последующие годы $P_{45} K_{120}$, можно получить картофеля по 90–120 ц/га, свеклы сахарной – 250–280, кормовых – 310–410, зеленой массы кукурузы – 160–310, капусты поздней – 400–500, зеленой массы овса – 260–340, сена многолетних трав в первые два года использования – 55–60, а в третий – 28–35 ц/га.

Большой опыт по окультуриванию горелых торфяников имеют хозяйства Малинского района Житомирской области. После перемещения горелых и негорелых слоев, постоянного применения органических и минеральных (преимущественно азотных) удобрений эти почвы стали пригодными для выращивания всех районированных культур.

Осушенные почвы, содержащие сульфиды металлов (а это достаточно распространенное на переувлажненных почвах явление), после осушения активно окисляются, что приводит к повышению в несколько раз их кислотности вследствие образования свободной серной кислоты. Поэтому одновременно с осушением здесь необходимо вносить известь. Однако внесение извести в недостаточно осушенную почву может усилить вымывание гумуса вследствие образования гидрокарбоната кальция, который превращает коллоиды гумуса в подвижную растворимую форму. В достаточно осушенных почвах этот процесс не происходит [38].

Одним из самых существенных негативных явлений, наблюдаемых на осушенных и освоенных торфяниках, является изменение процесса торфообразования на минерализацию и частичную гумификацию. Предотвратить минерализацию торфа при сельскохозяйственном использовании невозможно. Но этот процесс можно регулировать. Важным фактором, уменьшающим его интенсивность, является оптимизация водно-воздушного режима, то есть выбор рациональной нормы осушения. Чтобы предотвратить интенсивную минерализацию торфяников и развитие дефляции, следует минимизировать обработку, то есть уменьшить частоту и глубину вспашки плугами, а также применять структурную мелиорацию [39, 38, 28]. Торфяники в засушливые периоды огнеопасны, поэтому трактора, которые работают на них, следует оборудовать искрогасителями.

Известно, что неосушенные торфяники поддерживают уровень грунтовых вод на прилегающей суше, регулируют сток рек и питают озера, способствуют очищению воды. С этой целью следует сохранить в естественном состоянии 15–20 % площадей торфяных болот.

На торфяниках распространены растения, которые больше нигде не встречаются, многие из них занесены в Красную книгу. Кроме того, болота не уступают лесам по выработке кислорода, поглощают ионы тяжелых металлов и радиоактивные вещества, нефтепродукты и токсичные газы [40].

2.6.3. Структурная мелиорация – путь ускоренного окультуривания торфяных почв. Гидротехнические мелиорации в комплексе с агротехническими мероприятиями частично улучшают неблагоприятные свойства торфяных почв. Длительное воздействие комплекса таких мер, как регулирование водно-воздушного режима, обработка, внесение удобрений, меняют свойства и режимы торфяников, повышают их плодородие.

Увеличение минеральной и уменьшение органической части в составе твердой фазы торфа положительно сказывается на мелиорированных торфяных почвах. Однако сравнение целинных и старопашотных земель показывает, что интенсивность и абсолютные значения (величины) их улучшения незначительные. Особенно медленно накапливаются зольные элементы при обычных, агромелиоративных мероприятиях, поскольку основным источником их увеличения являются продукты разложения органического вещества торфа и внесенные минеральные удобрения [13, 26, 30, 28, 32, 41].

По данным белорусских исследователей и собственным за длительное время (до 50 лет) использования торфяника его минеральная часть увеличилась лишь на 5 %, а в почвах Сарненской исследовательской станции после 50 лет она составляла 12–15 при исходной величине 10–12 % [42, 20]. Медленные темпы изменения состава твердой фазы торфа под влиянием общепринятых приемов агротехники свидетельствуют о необходимости искусственного увеличения содержания минеральной части путем внесения минерального грунта [19].

Существует смешанный метод, суть которого заключается в том, что на поверхность болот насыпают минеральный грунт – песок или глину – и перемешивают его с торфом при обработке. Это улучшает физические, водные и химические свойства, питательный и тепловой режимы торфяных почв. Такой метод получил распространение в Германии. В Финляндии на опытной станции в Летенсуо велись исследования эффективности пескования и глинования более 50 лет. При внесении минеральной почвы в количестве 100–200 м³/га повышается урожайность зерновых культур и многолетних трав и улучшается качество продукции. Попытки пескования были в начале XX века (1924), когда на Шушарских и Охтинском болотах под Ленинградом были проведены опыты по залужению под овес с внесением глины в количестве 300–400 м³/га [18, 19, 42, 31, 28].

Исследование эффективности пескования последние 30 лет проводятся в Украине (НУВХП). В течение всего вегетационного периода выращиваемые культуры на пескованных вариантах были более обеспечены доступной влагой, чем на контроле, а условия роста и развития растений были значительно лучше, о чем свидетельствует более глубокое залегание корневой системы.

Данные Полесской опытной станции в Беларуси и НУВХП показывают, что при песковании улучшаются тепловой, водный и питательный режимы почвы, значительно увеличивается урожайность выращиваемых культур. Так, урожай зеленой массы кукурузы на участках с внесением 800 м³/га песка составляет 465 ц/га, а на контрольных – 180 ц/га [19].

Исследование эффективности минеральных примесей на мелиорированных низинных торфяниках пойм р. Цир и Стоход (Западное Полесье) проводились нами с 1972 г. В связи с тем, что основным материалом для увеличения минеральной части в торфах Полесья могут быть только песок и супесь, основное внимание уделялось изучению эффективности пескования [18].

Влияние пескования на основные свойства торфоболотных почв заключается в том, что минеральные добавки изменяют количественный и качественный состав твердой фазы торфа. При песковании происходит общее увеличение минерального остатка, перегруппировка отдельных элементов и соединений, входящих в состав минеральной части торфа [5].

При песковании изменение соотношений между органической и минеральной частями торфа улучшает водно-физические, агрохимические и другие свойства, активизирует почвенные процессы, что, в свою очередь, способствует увеличению растворимой части минерального остатка.

При внесении минерального компонента в торфяных почвах образуются органо-минеральные комплексы, которые изменяют количественный и качественный состав минеральной части и влияют на дальнейшие изменения свойств этих почв. Увеличение содержания минеральной части улучшает физические свойства торфяных почв, в частности увеличивается плотность, но уменьшается общая пористость. При песковании нормой 200 т/га плотность увеличилась почти в 2 раза и составила 0,38 г/см³ против 0,21 г/м³ на контроле. Внесение в торфяную почву песка уже в первый год снизило полную влагоемкость, снижаются также капиллярная и наименьшая влагоемкости. Пескование уменьшает максимальную молекулярную влагоемкость (ММВ) торфа и влажность разрыва капиллярной связи (ВРК), которая считается нижней границей доступной влаги для растений.

Важным фактором улучшения водного режима следует считать уменьшение недоступной влаги, которая зависит от сорбционных сил и свойств торфяного грунта. С увеличением нормы песка максимальная гигроскопичность (МГ) снижается, а соответственно и величина мертвого запаса влаги (МЗ). При песковании торфяников она уменьшается за счет изменения объемной доли компонентов почвы и образования органо-минеральных комплексов, которые характеризуются новыми, отличительными от органических, свойствами.

Изменение водных свойств торфа под действием минеральных добавок влияет на формирование водного режима торфяных почв.

Наблюдение за динамикой почвенной влаги показали, что во влажные периоды года на песчаных участках она ниже, чем на контроле, а в сухие – наоборот, содержание доступной для растений влаги выше на участках с пескованием.

Результаты исследований, опубликованные в литературе, не дают однозначного ответа на вопрос о влиянии структурной мелиорации на агрохимические свойства и питательный режим торфяных почв. Объясняется это разными природно-климатическими условиями, сроками проведения пескования (на первично освоенных и старопашотных почвах), неодинаковыми исходными генетическими характеристиками мелиорированных торфяников, применением различных материалов (песка, глины, отходов промышленности).

Содержание и оптимальное соотношение в почве элементов питания растений, в первую очередь NPK, характеризуют питательный режим. О динамике доступных форм питательных элементов пескованных торфяников Западного Полесья можно сделать следующие выводы:

– в первые два года после пескования заметно увеличивается содержание подвижного азота по сравнению с контролем в течение всего вегетационного периода. Эта закономерность более характерна для нитратного азота;

– по фосфору и калию данные различных авторов весьма противоречивы. Отмечается только увеличение подвижных форм фосфора при песковании торфяников. В. П. Зоткин считает, что с увеличением нормы песка до 1000 м³/га резко уменьшается содержание подвижного фосфора и обменного калия в верхних горизонтах, а в низших – не увеличивается.

Мы в своих опытах проводили пескование на фоне удобрений – P₆₀K₁₂₀. В первые годы после внесения песка содержание подвижных форм фосфора и калия значительно повышалось, а в последующие заметной разницы между контрольными и исследуемыми вариантами не наблюдали; но на пескованных участках обеспеченность растений их подвижными формами в течение всего вегетационного периода была выше.

На физико-химические свойства торфяных почв минеральные добавки влияют по-разному: изменяя компонентный состав, физическое состояние и реологические свойства торфа. Они не инертны, а характеризуются комплексом своих, отличных от торфяных почв свойств, в том числе и физико-химических. Особенно влияют минеральные добавки на кислотность почвы. Как свидетельствуют данные исследований, они снижают активную и гидролитическую кислотность торфяных почв, что позволяет уменьшать нормы известкового материала для нейтрализации кислотности торфяных почв на фоне структурной мелиорации.

Надо отметить, что полученные закономерности касаются торфов, которые имеют кислую и слабокислую реакцию, меньшую степень разложения и низкое по сравнению с торфами Полесья исходное содержание минерального остатка. Кроме того, кислотность обогащенного минеральными добавками торфяного грунта значительно зависит от кислотности самого компонента.

Улучшение водно-воздушного режима при песковании торфяных почв положительно повлияло на изменение тепловых свойств, поскольку вместе с влагой определяющее влияние на температурный режим оказывает соотношение минеральной и органической части в твердой фазе почвы (табл. 2.31).

Таблица 2.31

Влияние пескования на минимальную температуру поверхности почвы (пойма р. Цир)

Вариант опыта	Июль							
	2	6	10	14	18	22	26	30
Контроль, без песка	16,4	8,4	6,6	12,3	13,8	6,4	9,3	15,0
Внесены 200 т/га песка	16,8	10,6	8,8	14,5	14,8	8,3	10,0	16,4

Торфяные почвы медленнее прогреваются в начале вегетационного периода и охлаждаются осенью, а перепады температуры по профилю на этих почвах значительно больше, чем на минеральных (табл. 2.32). Влажные почвы весной дольше остаются холодными на поверхности, чем сухие, а осенью (в глубоких горизонтах) теплее сухие, поэтому следует ранней весной способствовать более

быстрому снижению уровня грунтовых вод, а ранней осенью, наоборот, накапливать ее запасы в почве и постепенно сбрасывать к зиме.

Таблица 2.32

Оттаивание почв

Вариант опыта	Глубина оттаивания почвы, см			
	15.03	28.03	5.04	10.04
Пропашные, контроль	$\frac{2,2-3,0}{10}$	$\frac{14,0-16,0}{10}$	$\frac{18,5-20,0}{10}$	$\frac{50,0-58,0}{15}$
Внесены 200 т / га песка	$\frac{4,0-7,0}{5}$	$\frac{25,0-27,0}{5}$	$\frac{30,0-32,0}{5}$	Размерзлась на всю глубину

Примечание: числитель – глубина оттаивания почвы; знаменатель – количество определений.

Выравнивание температур по глубине происходит за счет как повышения теплопроводности хорошо увлажненной почвы, так и переноса тепла вглубь инфильтрирующими водами ливневых осадков. Пескование положительно сказывается на интенсивности оттаивания торфяных почв в ранневесенний период, что связано с увеличением тепло- и температуропроводности, низким содержанием влаги (табл. 2.32).

В последствии (6–9 лет) пескование также положительно влияет на температурный режим торфяника. По прогнозу продолжительности действия пескования на температурный режим торфяных почв Полесья Украины следует ожидать положительного влияния минеральных добавок и в следующие 10–15 лет после разового внесения песка.

2.6.4. Гидротехнически-мелиорированные почвы СЗР Украины: необходимость повышения эффективности их использования и охраны. На основании собственных многолетних исследований, обобщения литературных и фондовых данных, опыта практики определены состояние и направления дальнейших исследований проблемы.

Динамика изменения площадей гидротехнически-мелиорированных земель за период с 1963 по 1993 год (после 1993 г. дальнейшие работы по осушению земель, в том числе торфяных почв, фактически прекратились). Но динамика их за этот период (табл. 2.33), как и запасы торфо-земельных ресурсов, свидетельствуют о том, что они в СЗР были и, очевидно, должны быть в дальнейшем резервом. По оценкам ученых и правительственным данным, около 1/10 пахотных земель Украины приходится на зону Полесья, а на Лесостепную – около 1/2. Эти же закономерности имеют место и при анализе наличия и возможностей использования органогенных почв и торфа.

Приведенные в таблице 2.33 данные подтверждают сказанное ранее о площади торфяных (органогенных) почв по территории административных областей Украины (включая Полесье и северную Лесостепь).

Таблица 2.33

Торфо-земельные ресурсы СЗР и по Украине в целом [19]

Области	Площадь органогенных почв, тыс. га		Площади торфяников в промышленных пределах, тыс. га	Общие запасы торфа на промышленных площадях, млн т	Площадь выработанных торфяников, тыс. га
	общая	в т. ч. осушенных			
Волынская	290	195	112	312	5,3
Ровенская	262	203	135	358	7,1
Львовская	146	95	39	165	9,6
Тернопольская	27	94	11	25	1,4
Хмельницкая	22	4	6	6,8	8,5
Итого по ППР	747	591	303	867	319
Всего по Украине	1414	824,5	587,3	1729,6	91,4
% СЗР от общей площади по Украине	6	7	5	5	4

Площади торфяных месторождений и почв на них на Земном шаре в целом приведены в таблице 2.34.

Торфяные ресурсы мира [19]

Страна	Площади торфяных месторождений, тыс. га	Запасы торфа 40% влажности, млрд тонн	% к мировым запасам
Российская Федерация	56641	186,20	37,5
Индонезия	26000	78,50	15,8
США	10240	36,30	7,3
Канада	12950	35,00	7,0
Финляндия	10000	35,00	7,0
КНР	4100	27,00	5,4
Малайзия	2360	11,80	2,5
Швеция	7000	11,20	2,4
ФРГ	1130	7,00	1,5
Польша	1500	6,00	1,2
Ирландия	1230	5,80	1,2
Великобритания	1600	5,70	1,2
Африканские страны	3110	5,09	1,0
Беларусь	1655	5,10	1,0
Эстония	619	2,96	0,6
Нидерланды	430	2,58	0,5
Франция	400	2,45	0,5
Украина	660	2,30	0,5
Исландия	1000	2,00	0,4
Норвегия	3000	2,00	0,4
Латвия	497	1,90	0,4
Дания	340	1,30	0,3
Новая Зеландия	260	1,30	0,3
Литва	293	1,20	0,2
Япония	300	1,20	0,2
Австралия	220	1,00	0,2
Бангладеш	300	1,00	0,2
Другие страны	1627	16,60	3,3
Вместе	149462	495,48	100

Сведения о них (табл. 2.34) необходимо знать для установления и использования возможных партнеров по проблемам изучения и использования торфоресурсов и почв на них для внедрения совместных мероприятий по охране окружающей среды.

2.6.5. Экономическая эффективность структурной мелиорации. Нормы внесения минеральных добавок зависят от типа болот, степени разложения, природного содержания минерального остатка в торфе, климатических условий региона и других факторов.

На торфяниках Украинского Полесья изучались дозы пескования: 10, 50, 100, 200, 400 т/га; глинования: 50, 100, 200 т/га. В связи с транспортными и другими расходами основным материалом для структурной мелиорации торфяников Полесья являются песок, подзолистые почвы песчаного и супесчаного состава.

Исследования и их производственная проверка в других регионах страны показывают, что в виде добавок можно использовать песок, глину, супесь, суглинок, отходы химической и других видов промышленности, низкопроцентные минеральные удобрения, а также почву из каналов при строительстве мелиоративных систем и планировании песчаных холмов. Однако при выборе минерального грунта, кроме учета свойств, необходимо исходить из места его расположения.

Согласно исследованиям БелНИИМВГ и УИИВХ (нынешнего НУВХП) минеральные компоненты не должны содержать вредных для сельскохозяйственных культур соединений с содержанием серы, посторонних твердых примесей (камни и т. п.), по гранулометрическому составу – средне- и крупнозернистые с нейтральной реакцией (последнее имеет особо важное значение при освоении кислых торфов).

На основе проведенных опытов мы считаем, что в условиях Украинского Полесья эти нормы следует корректировать, то есть вносить: песка и супеси 150 м³/га, или 200–250 т/га; глины и суглинка – 65 м³/га, или 50–100 т/га.

Экономическая эффективность структурной мелиорации

Вариант опыта	Культура	Год	Урожай, ц/га	Прирост урожая, ц/га	Стоимость прироста урожая, руб.	Дополнительные затраты на уборку прироста урожая	Чистый доход, руб.
Р ₆₀ К ₁₂₀ контроль без песка	Тимофеевка (зеленая масса)	1977	334,0	-	-	-	-
		1978	369,0	-	-	-	-
	Овес	1979	22,5	-	-	-	-
	Картофель	1980	84,0	-	-	-	-
Р ₆₀ К ₁₂₀ + 50 т/га песка	Тимофеевка	1977	362,0	28,0	24,08	12,60	11,43
		1978	390,0	21,0	18,06	9,45	8,61
	Овес	1979	27,5	5,0	53,50	7,15	46,35
	Картофель	1980	106,7	22,2	222,00	8,88	213,12
Р ₆₀ К ₁₂₀ + 100 т/га песка	Тимофеевка	1977	405,0	71,0	61,06	31,95	29,11
		1978	428,0	59,0	50,74	26,55	24,19
	Овес	1979	30,5	8,0	85,60	11,44	74,16
	Картофель	1980	104,5	20,0	200,00	8,00	164,00
Р ₆₀ К ₁₂₀ + 200 т/га песка	Тимофеевка	1977	469,0	135,0	116,10	60,75	55,35
		1978	477,0	108,0	92,88	48,60	44,28
	Овес	1979	34,2	11,7	125,19	16,73	108,46
	Картофель	1980	133,2	48,7	487,00	19,48	467,52

Следует отметить, что смесь торфа и песка еще не создает стабильной почвы. Торфяные почвы с устойчивыми свойствами образуются постепенно по мере образования органо-минеральных комплексов. Для этого необходимы такие же физические, химические и биологические процессы в органо-минеральной смеси, как протекающие при образовании природной структуры почв.

В зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий можно применять такую технологию внесения минеральных добавок в торфяные почвы:

- доставка минерального компонента транспортными средствами с последующим равномерным распределением его по поверхности торфяной почвы и перемешиванием на глубину 15–18 см;
- внесение песка в виде мульчи слоем 1,5–2 см по поверхности почвы или на залуженную поверхность;
- намыв минеральной почвы на поверхность глубоких и средних (более 1 м) торфяников с последующим его перемешиванием. На мелких торфяниках следует применять глубокую вспашку с перемещением на поверхность подстиляющего песка слоем 15–20 см, чем достигается консервация органического вещества торфа.

При расчете экономической эффективности пескования в наших опытах вариант с нормой песка 10 т/га не учитывался, так как не получено существенного прироста урожая. Затраты на внесение 400 т/га песка удвоились по сравнению с нормой 200 т/га, а прирост урожая большинства культур оказался неэквивалентным.

Пескование дает значительный эффект при внесении песка 50, 100, 200 т/га, но наибольший чистый доход получен при внесении 200 т/га, поэтому целесообразно считать эту норму оптимальной. Исходя из данных чистого дохода, затраты на пескование окупаются за два года при выращивании однолетних трав и пропашных культур. При выращивании многолетних трав срок окупаемости несколько увеличивается.

2.6.6. Мелиорация гидроморфных почв и водность рек. В связи с переходом к комплексной водно-мелиоративной перестройке речных бассейнов и мелиорации больших площадей особое значение приобрели вопросы охраны природы. В Украине более 22 тыс. рек, формирующих около 50 % поверхностных водных ресурсов. Для крупных рек уменьшение водных ресурсов вследствие осушения земель незначительное – до 5 %, а для средних и малых влияние осушительных мелиораций существенное, при этом сток уменьшается на 20–40 %, особенно в многоводные периоды и годы. Это объясняется рядом причин: осушение образует безводный профиль между поверхностью земли и пониженным уровнем грунтовых вод, который поглощает часть паводкового стока; снижение их

уровня ухудшает пополнение рек с осушенной поймы, выращивания сельскохозяйственных культур на последних, способствует увеличению испарения на 20 % и более по сравнению с болотами; изменения водно-физических свойств пойменных земель приводят к увеличению водопроницаемости и т. п. Сохранению полноводности рек, особенно малых, следует уделять большое внимание. Для этого строятся водохранилища и пруды. Необходимо иметь в виду, что значительному снижению водообеспеченности территорий способствует выпрямление речных русел. Поэтому при проектировании мелиоративных систем нужно учитывать это негативное явление: на каналах предусматривать шлюзы-регуляторы, создавать водозащитные береговые полосы, проводить работы по их закреплению.

2.7. Основные экологические функции торфяных земель

2.7.1. Гидрологические и биохимические функции. В поддержании экологического равновесия торфяные болота играют особенно важную роль. Они служат депонаторами и обеззараживателями вредных веществ, связывают углерод и производят кислород, аккумулируют влагу и перераспределяют стоки атмосферных вод, создают экологические ниши для целого ряда представителей болотной флоры и фауны, в том числе ценных для человека (лекарственных растений, ягодников, болотной охотничьей дичи и т. д.). Природные (экологические) функции болот, как отмечают белорусские исследователи [43], делятся на заменимые и незаменимые. Основные функции торфяных почв и торфяников, которые нами уточнены, показаны на схеме (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Функции торфяных почв и торфяников

Традиционно наибольшее внимание уделяется гидрологическим функциям болот, изменение которых вызывает ряд других изменений, а именно: аккумулятивная функция меняется на рассеивающую (диссипативную), водозастойная – на дренажно-стоковую, торфообразующая – на торфодеструктивную и т. п.

Осушительные мелиорации торфяных болот привели к ощутимой аридизации сельскохозяйственных земельных территорий во влажных регионах Украины. Торфяные болота есть фактически водоемы, заполненные торфом, и поэтому уровень воды в них поднимается и стоит значительно выше по сравнению с таким же, но не заполненным торфом водоемом. Массовая доля воды в целинном торфянике достигает 94 % и более, а остальные 6 % приходятся на твердую фазу. Гидрологическая функция торфяных болот проявляется в стабилизации водного режима, включая подпочвенные воды, открытые водоемы, озера, реки, а также в регулировании водного баланса территорий их распространения. Болота питают водой естественную гидрографическую сеть, прежде всего в меженные летние периоды, а во время наводнений они собирают и аккумулируют значительные массы воды, уменьшая масштабы затопления земельных территорий [44, 9, 45, 41].

После осушения и добычи торфа уровень грунтовых вод существенно снижается, что приводит к перераспределению всего внутреннего годового стока; понижение уровня воды в прилегающих к болотам озерах может иметь катастрофические последствия и привести к истощению местных водных ресурсов, износу торфа и ветровой эрозии, особенно в зоне Полесья. Обусловлено это широким распространением здесь почв легкого гранулометрического состава с высокой водопроницаемостью. Поэтому иссушение земель может распространяться на довольно значительное расстояние от объекта мелиорации – до 1 км в зависимости от фильтрационной способности почвы-основы [46]. В результате осушительных мелиораций трансформируются природные фитоценозы и появляются новые, более ксерофитные виды растений, не свойственные болотным и заболоченным землям. Таким образом, в целинном состоянии гидрологические, геохимические и другие функции торфо-болотных комплексов заключаются в аккумуляции достаточно мощных водно-вещественных масс поверхностных стоков, в очистке стоков от различных загрязнителей окружающей среды, в регуляции устоявшихся (равновесных) биосферных процессов.

После проведения мелиоративных работ и в процессе сельскохозяйственного использования осушенных торфяников экологическое равновесие существенно нарушилось из-за смены застойного водного режима на дренажно-промывной. В то же время интенсифицировались процессы разрушения торфа, рассеивания продуктов этого разрушения в окружающую среду – аэротоп и подпочвенные воды. Это негативно сказывается на химическом составе поверхностных вод, чистоте озер, водохранилищ, рек, особенно таких, как Припять и Днепр. Вследствие ухудшения гидрологического режима участились явления затопления земельных территорий и пересыхания русел рек и колодцев в жаркий период года. Значительный экологический ущерб наносят выработанные торфяники, расположенные в поймах рек, из-за потери ими водоаккумулятивной способности. Типичным примером этого могут быть выработанные участки крупных торфяных болот в верховьях долины р. Днестр. Во время Карпатских наводнений они аккумулировали значительные массы воды, что в определенной степени уменьшало разрушительное действие паводковых вод. Поэтому восстановление гидрологических функций этих и других торфяных болот выступает как крайне необходимое, экологически важное мероприятие.

Торфо-болотные комплексы, занимая пониженные места, являются своеобразными геохимическими барьерами на пути транспорта водно-вещественных масс. Проблема ренатурализации части площадей обусловлена не только необходимостью восстановления и стабилизации водного режима территорий, но и потребностью извлечения из гидрогеохимических стоков загрязнителей с последующей их долговременной консервацией и обеззараживанием.

Об экологической уязвимости торфяных земель свидетельствуют проведенные многолетние исследования в заторфованных поймах рек Цир и верховьях Припяти Волынской области. Они показали, что под влиянием мелиорации существенно уменьшилась гидродепонирующая способность торфяных массивов (табл. 2.36). В то же время произошли значительные потери торфомассы из-за их минерализации, вымывания, ветровой эрозии.

За 28-летний период сельскохозяйственного использования в лугово-полевых севооборотах общие потери сухой торфомассы со всей площади осушенных торфяников достигли высоких значений: в Цирской осушительно-влажностной системе – 3 200 000 т и на Верхне-Припятской – 1 500 000 т, то есть торфяной ресурс на этих системах иссяк соответственно на 23,8 и 11,6 % по сравнению с исходным (целинным) состоянием. Экстраполируя темпы потерь на всю общую площадь осушенных торфяных почв Украины (850 тыс. га), можно найти, что ежегодная величина срабатывания торфа на сельскохозяйственных угодьях достигает 11–15 млн т. Это равноценно 2-летнему объему добычи торфа для хозяйственных нужд, что запланировано концерном «Укрторф» на 2010–2030 гг. Следовательно, данные мониторинговых наблюдений наглядно показывают остроту проблем рационального использования и сохранения торфо-земельных ресурсов в Украине, их комплексного решения.

Потери сухой торфомассы и водоаккумулирующей способности торфяных почв под влиянием осушения и 28-летнего использования в расчете на всю площадь их распространения (1964-1992 гг.) по Р. С. Трускавецкому

Объекты	Фон	Общая площадь, тыс. га	Средняя глубина торфяника, см	Запасы торфомассы, млн т	Запасы влаги, млн м ³		Водоотдача, млн м ³
					ПВ	НВ	
Заторфованная пойма р. Цир	целинное торфяное болото	5,2	1,98	13,4	54,9	53,7	1,1
	осушенное и 28-летнее использование	4,9	1,67	10,2	41,8	39,7	2,2
	разница (+/-)	-0,3	-0,31	-3,2	-13,1	-14,0	+1,1
Заторфованная пойма р. Верхня Припять	целинное торфяное болото	11,56	1,24	12,9	53,6	51,7	1,9
	осушенное и 28-летнее использование	10,98	0,96	11,4	43,5	39,5	4,0
	разница (+/-)	-0,58	-0,38	1,5	-10,1	-12,2	+2,1

Значительные массивы торфо-болотных комплексов Припятского Полесья подверглись радионуклидному загрязнению. Водные потоки, насыщенные загрязненными грунтовыми коллоидами, проходя через торфяные болота, освобождаются от этих ингредиентов. В условиях дренажа значительная часть твердого стока проходит транзитом в водоприемники, поэтому в зоне радиоактивного загрязнения торфо-болотные комплексы подлежат ренатурализации в первоочередном порядке.

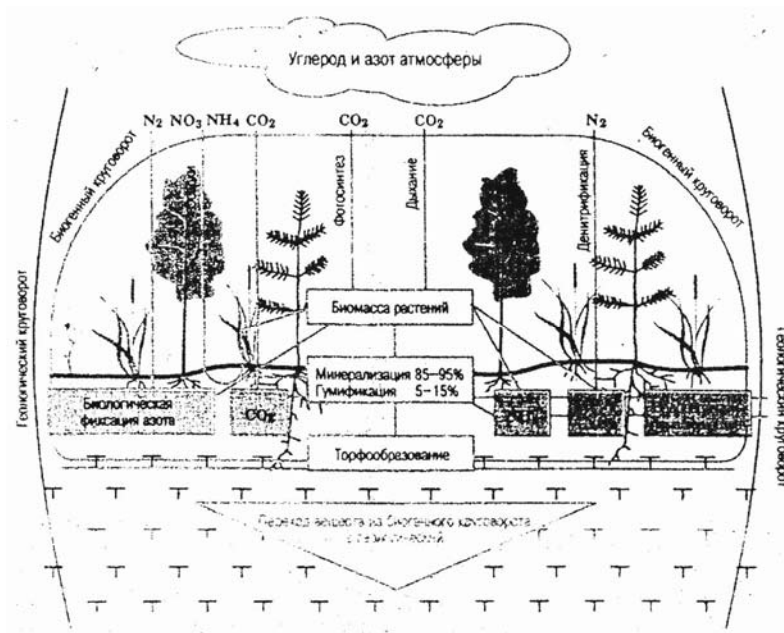
Самым эффективным способом уменьшения непроизводительных потерь биогенных элементов с инфильтрационно-дренажными водами является хорошо развитый растительный покров и получение высоких урожаев путем дозированного внесения удобрений и мелиорантов. Многочисленные литературные данные и результаты собственных исследований [42, 19, 38, 39] показали, что параметры потерь колеблются в широких пределах. Отмечено, что в условиях оптимальной системы удобрения концентрации большей части химических ингредиентов в дренажных водах мелиоративных систем Полесья находятся в допустимых пределах. На почвах более высокого уровня окультуренности потери веществ увеличиваются (табл. 2.37).

Таблица 2.37

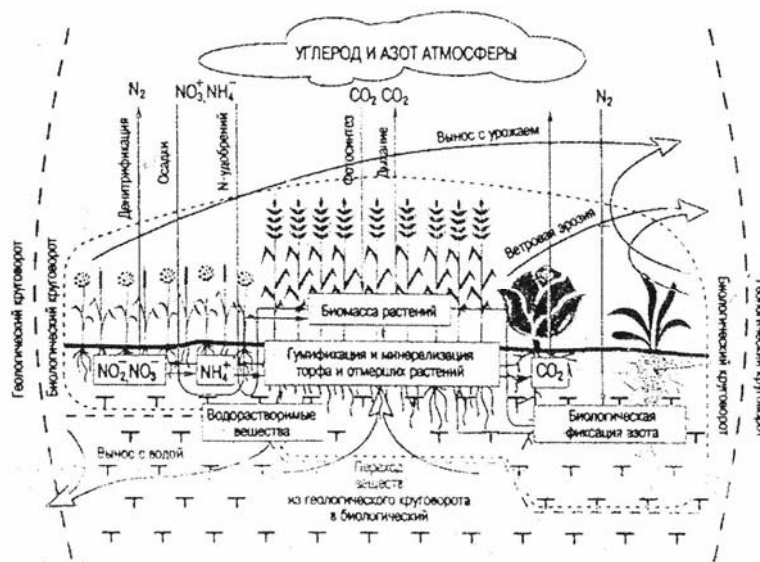
Ежегодные потери отдельных водорастворимых ингредиентов торфяной почвы поймы р. Цир с инфильтрационно-дренажным стоком, кг/га

Ингредиенты	Пласт трав		Пропашные	
	контроль	удобрений	контроль	удобрений
Органическое вещество	112	92	29	153
Нитраты (NO ₃)	11	9	35	22
Фосфаты (P ₂ O ₅)	0,8	1,5	2,5	2,0
Калий (K ₂ O)	4	8	7	12
Кальций (CaO)	16	20	28	24
Магний (MgO)	1,8	2,0	2,6	2,9
Железо (Fe ₂ O ₃)	43	23	18	16
pH	5,6	5,7	5,5	5,6

2.7.2. Газорегуляторные функции торфяных земель. Осушение торфяных болот и их интенсивное использование существенно нарушили газорегуляторные функции торфо-болотных экосистем. Роль торфяников и заболоченных почв в изменении локального, не исключая и глобального газового режима, прежде всего углеродно-азотного (CO₂, CH₄, N₂O и др.), общепризнанный факт. Эта роль проявилась, в частности, в характере трансформации органического вещества и азот-углеродном круговороте. Известно, что концентрация CO₂ в атмосфере по сравнению с содержанием азота, кислорода и паров воды низкая (всего 0,03 %), однако биологическое значение его чрезвычайно велико – он является основным компонентом фотосинтеза и всех форм жизни. Однако даже незначительное перенасыщение атмосферы CO₂ недопустимо, поскольку оно влияет на изменение климата, усиливая парниковый эффект (рис. 2.5).



а)



б)

Рис. 2.5. Круговорот углерода и азота в неосушенных (а) и осушенных (б) болотах [44]

Торфяные почвы являются достаточно мощными продуцентами диоксида углерода и поставки его в аэротоп (приземный слой атмосферы высотой 2,0–2,5 м). Благодаря этому интенсифицируется фотосинтез, который одновременно очищает аэротоп от CO_2 . Однако эмиссия углекислоты с поверхности почвенного покрова в аэротоп нередко превышает объемы ее стока-связывания CO_2 первичными продуктами фотосинтеза. Такой неуравновешенный углеродный цикл особенно присущ осушенным торфяным почвам и торфяникам в условиях экстенсивного использования в культуре пропашных. Нами изучалась эмиссия (интенсивность дыхания почвы – СЗР) и содержание CO_2 на различных агрофонах Камень-Каширского стационара (пойма р. Цир) с поверхности осушенного торфяника [19].

Депонирование диоксида углерода в целинных гидроморфных экосистемах существенно преобладает над его эмиссией в атмосферу. Это обусловлено высокой аккумуляцией органических веществ на переувлажненных землях и слабо выраженными процессами их минерализации.

Эмиссию CO_2 можно регулировать аналогично, как и процесс минерализации органического вещества торфа. Под пластом многолетних трав торфяные почвы выделяют в атмосферу существенно меньше диоксида углерода, чем под пропашной культурой. В то же время серьезно повышается карбоно-секвестральная емкость торфяного грунта, или способность его стабилизировать углеродный баланс и содержать углерод в составе органических веществ почвы. На процесс разложения органи-

ческих веществ существенно влияют обработка и удобрение почвы, режим водорегулирования, структурная мелиорация и тому подобное. Однако агротехнические и агромелиоративные меры не в состоянии прекратить общий процесс эмиссии CO_2 на осушаемых землях, который преобладает над его секвестрацией.

С точки зрения экологии очень важно, чтобы CO_2 , который поступает в аэротоп с поверхности почвенного покрова, максимально поглощался растениями, увеличивая тем самым ежегодный фотосинтетический сток. Это возможно только в условиях интенсивного развития растительного покрова формированием мощной наземной фитомассы.

Динамика интенсивности эмиссии метана из торфяников также обусловлена водным режимом и характером трансформации органических веществ. Выработка метана – характерный признак болотного почвообразования. В условиях полного анаэробно-аэробно-аэробного режима и консервации органического вещества выработка метана болотными экосистемами существенно падает. В то же время, в зависимости от частоты смены анаэробно-аэробно-аэробного режима и наоборот, процессы метанообразования усиливаются, о чем свидетельствуют некоторые литературные источники. В условиях стабилизации водно-воздушного режима, уменьшения амплитуды параметров анаэробно-аэробных колебаний интенсивность процессов метанообразования и эмиссии CH_4 в атмосферу замедляются. Прямой потенциал глобального потепления климата (в интервале 20 лет) для метана в 39 раз превышает таковой от CO_2 . Поэтому недооценивать экологически негативную роль эмиссии метана с поверхности торфяных земель не следует. К сожалению, только в последние десятилетия появились отдельные, иногда противоречивые публикации «болотно-метановой» проблематики. Они ценны тем, что обосновывают конкретные параметры процессов метанообразования и выделения его в атмосферу из болотных почв. По литературным данным, крупнейшими донорами метана в атмосферу среди различных типов почв является торфоболотные. Не исключен залповый выброс метана с торфяников в атмосферу при их мелиорации и ренатурализации. Эмиссия метана в атмосферу существенно возрастает после затопления осушенных и выработанных торфяников и стабилизируется на более низких параметрах, чем это характерно для осушенных торфяных почв.

Большой диапазон колебаний эмиссии CH_4 с торфяников – от 0,05 до 16,6 г/м² в теплый сезон свидетельствует о недостаточном изучении метанового режима переувлажненных почв. По обобщенным данным цитируемых авторов, ежегодная эмиссия метана из поверхностных болот установлена в среднем на уровне 53 (20-84) кг/га, с низинных – 297 (190–480) кг/га. На потоковый режим метана значительно влияет также применение азотных и органических удобрений.

Страны, подписавшие Киотский протокол, обязались снизить выбросы парниковых газов в атмосферу, и в частности закиси азота (N_2O). Это заставляет землепользователей применять меры, направленные на уменьшение минерализации органического вещества торфяников и накопления минеральных форм азота, на торможение процессов чрезмерного испарения азотных газов в атмосферу. Закись азота является агрессивным парниковым газом, который разрушает стратосферный озоновый слой. Выбросы закиси азота с целинных торфяных болот незначительны и составляют всего лишь 0,04–1,2 кг N/га в год. На осушенных низинных торфяниках эти выбросы могут повыситься до 16 кг N/га в год, а средняя величина их в культуре луговодства составляет 5,7 кг N/га в год. По нашим данным, суммарные расходы азота на испарения и вымывания могут достичь 20–25 % от общего содержания его минеральных форм в торфяных почвах. Потери азотного потенциала интенсифицируются в условиях контрастного динамического изменения окислительных процессов на восстановительные в корнеобитаемом слое торфяного грунта, что усиливает денитрификацию азотных соединений.

Важно отметить, что осушенные торфяники обязательно должны стать объектом учета балансов парниковых газов согласно Киотскому протоколу. Тем самым признана важность учета торфяного фактора в глобальном изменении климата. Резолюция Рамсарской конвенции 2002 по проблеме заболоченных земель и изменения климата призвала все причастные к этой проблеме страны минимизировать деградацию торфяников и способствовать их восстановлению как ценных хранилищ и аккумуляторов углерода. В настоящее время перед Украиной возникла уникальная возможность инициировать проект восстановления торфяных болот с перспективой коммерческой выгоды от накопления углерода ренатурализованными болотами.

2.8. Направления использования торфяно-земельных ресурсов

Уникальность торфяных залежей заключается именно в том, что этим природным объектом человек определил различные направления его использования. Современная земельная реформа осложнила решения проблем комплексного, экологического и экономически взвешенного использования

торфяных земель. Уже ни у кого не возникает сомнения в приоритетности экологической целесообразности использования торфяных земель над экономическими. Для этого необходимо отказаться от стихийно-потребительского использования торфяных ресурсов и перейти на научно обоснованное, биосферно-совместимое и комплексное их использование. Данная концепция уже реализуется во многих странах мира. Как полезный опыт может служить реализация данного подхода в соседней Беларуси, где торфяные земли занимают значительные площади [43]. Дальнейшее рациональное использование торфяных земель требует четкой регламентации соотношений всех возможных направлений. Во всесторонне обоснованных параметрах этого соотношения как раз и заключается сущность современной концепции комплексного использования торфяно-земельных ресурсов Украины [5, 11].

Деятельность человека на торфяных землях должна оцениваться таким общим критерием, как соответствие или несоответствие этой деятельности биосферным функциям торфяных болот, насколько она соответствует стратегическим целям общества и принципам устойчивого социального развития. При этом важно правильно сочетать максимально возможную коммерческую выгоду с минимально допустимым экологическим ущербом.

Интерес к торфяному сырью и созданной на его основе торфяной продукции постоянно растет как в отечественном производстве, так и в мире [47, 48, 49]. В отличие от других ископаемых энергоносителей (уголь, нефть, газ и т. п.), торф относится хотя и к чрезвычайно медленно, но все же восстанавливающимся ресурсам. Поэтому очень важно рассчитывать баланс между возможностью восстановления торфяных запасов, с одной стороны, и потерей торфяных ресурсов вследствие его добычи и сжигания – с другой, а также срабатывания при осушении торфяных болот и сельскохозяйственном использовании.

Темпы накопления торфа, как известно, настолько малы и длительны, что компенсация его потерь может протекать в течение жизни многих поколений. Однако это не значит, что усилия не следует направлять на создание максимально возможной гармонии в названном балансе. В целом человек должен в корне изменить отношение к будущей судьбе торфяных земель – перейти от деструктивных методов их использования в созидательные согласно фундаментальным идеям В. И. Вернадского. Исходя из современных социальных и природоохранных проблем, ниже приводим краткую характеристику наиболее важных направлений использования торфяных земель Украины.

2.8.1. Земледельческое направление использования торфяных земель заключается в проведении их гидромелиорации и освоении торфяных болот для выращивания сельскохозяйственных культур преимущественно кормовой группы, меньше – овощных и полевых, создание высокопроизводительных сенокосов и культурных пастбищ. Осушительные работы осуществлялись и в лесном хозяйстве для улучшения бонитета лесных насаждений на заболоченных и болотных землях, создания благоприятных условий для их ускоренного роста и развития [21, 31]. Следует отметить, что необоснованно масштабное расширение пахотных земель за счет освоения торфяных болот оказалось эколого-экономически убыточным мероприятием. Это направление в недалеком прошлом занимало ведущее место в системе использования торфяных земель. За период с 1964 по 1995 год были охвачены и привлечены к интенсивному сельскохозяйственному использованию почти 75 % всех имеющихся в Украине массивов торфяно-земельного фонда. Сложилась ситуация, когда значительная часть осушенных торфяных земель не используется, часть зарастает низкокачественной кустарниково-травяной растительностью и продолжает деградировать.

Многочисленные исследования показали, что наиболее рационально осушенные торфяные почвы использовать под высокопроизводительные луговые угодья и пастбища [8]. При необходимости выращивать полевые и овощные культуры большинство исследователей пришли к выводу о том, что удельный вес этих культур в севообороте не должен превышать 50 %, в том числе пропашных – 10–15 %. Выращивание пропашных рекомендуется сочетать с применением структурных мелиораций путем обогащения слоя торфяного грунта минеральными породами – супесью, суглинком, глиной, мергелем и т. д. В этом случае культурное земледелие предусматривает сверхглубокую плантажную вспашку (70 см) специальными плугами с целью привлечения подстилающей минеральной породы в почвообразующий процесс путем перемешивания ее с торфяными горизонтами и создания хорошей капиллярной связи корнеобитаемого слоя почвы с подпочвенными водами. В условиях интенсивного ведения земледелия на осушенных торфяных почвах способы структурной мелиорации являются эколого-экономически эффективными – они осуществляются одновременно из расчета на длительное последствие (до 40 лет и более). Следует заметить: чем выше почвообразующая способность подстилающей минеральной породы (например, слабооглеенные супеси и легкие лёссовидные суглинки), тем эффективнее меры структурных мелиораций. В случае среднеглубоких и глубоких торфяников их пахотный слой обогащают привозными минеральными породами, используя наиболее

подходящие для этого местные ресурсы почвообразующих пород. Удешевления структурных мелиораций можно достичь внедрением локального способа внесения мелиоранта, что имеет значительные эколого-экономические преимущества перед сплошным разбросным – вынос илистых частиц и удобрений существенно уменьшается, эффект достигается при существенно меньших затратах материальных и энергетических ресурсов.

Создание высокопроизводительного луговодства обязательно надо синхронизировать с возрождением и развитием животноводства. Опыт соседней Польши указывает, что на торфяных землях в условиях рационального их использования можно ежегодно и стабильно получать 120–140 ц/га высококачественного сена многолетних трав. Торфяные земли должны стать настоящими фабриками травяного сырья для производства различных кормов. Важно, чтобы доля торфяных земель под высокопроизводительными травяными угодьями была обоснованной и гармонично связанной с темпами возрождения животноводческой отрасли [50].

Корневая система хорошо развитого травостоя с богатой ризосферной микрофлорой способствует рациональному использованию продуктов минерализации торфа, существенному уменьшению непроизводительных потерь биогенных элементов с инфильтрационно-дренажным стоком, усилению процессов гумификации и омоложения гумусовых веществ, служат донатором кислорода в атмосферу и очистки ее от избытка парниковых газов. При правильном луговодстве потери органического вещества осушенных торфяников сводятся к минимальным или балансово уравниваются. Торфяные почвы под высокопроизводительными лугами трансформируются постепенно в агрогенно-торфяно-перегнойные с устойчивым органо-минеральным комплексом.

Значительная часть осушенных торфяных почв и торфяников, вовлеченная в сельскохозяйственное использование, деградировала из-за срабатывания (минерализации) торфяной массы, усадки, вторичного переувлажнения, торфяных пожаров, добычи торфа и т. п. Точная площадь таких земель неизвестна. Дальнейшее их сохранение в категории земель сельскохозяйственного назначения нерационально.

2.8.2. Использование торфяников для добычи торфяного сырья. Данное направление раньше считалось не совсем рациональным из-за невосполнимого, однонаправленного процесса исчерпания торфяных ресурсов [11, 44, 51, 19]. Однако практика торфодобычи, современные исследования по «болотной» проблематике и социальные нужды показали, что определенную часть торфяников следует использовать как месторождение для добычи торфяного сырья на различные хозяйственные нужды, и прежде всего потребности аграрного производства. В настоящее время увеличивается потребность также в промышленном производстве разнообразно обогащенных торфяных и фитоторфяных брикетов для удовлетворения местных потребностей в топливных ресурсах. Сейчас большая часть добытого торфа используется для заготовки органо-минеральных удобрений, почвенных субстратов для нужд овощеводства, цветоводства. В конце 90-х годов прошлого века ежегодная добыча торфа была доведена до 23 млн т, из которых на топливо использовалось только 2 700 000 т, а остальные на удобрения и другие сельскохозяйственные нужды. Промышленные торфопредприятия добывали до 6 млн т, а большая часть торфа – 17 млн т – предприятиями бывшей «Сельхозхимии», которые нередко вывозили свежедобытый торф низкого удобрительного качества прямо на поля с нормой внесения 25–30 т на 1 га. Эффект от этого был небольшой и проявлялся, как правило, только в последствии, на второй-третий годы. То есть ради выполнения плана наблюдалось полное пренебрежение технологиями эффективного использования торфа на удобрение, что привело к уменьшению торфяных ресурсов. С момента становления независимости объемы добычи торфа в Украине, осуществляемых торфопредприятиями, резко снизились. В настоящее время они добывают ежегодно около 1 млн т торфа, в том числе фрезерного для брикетирования 645 тыс. т, кускового на топливо – около 65 тыс. т и остальные – 290 тыс. т – для заготовки удобрений, почвенных субстратов и другие нужды. Учитывая возможности торфопредприятий и перспективы их модернизации, а также высокую потребность в органо-минеральных удобрениях, ежегодный объем добычи торфа на удобрение и другие нужды агропроизводства рационально довести до 5–6 млн т, что и предусмотрено программой развития торфяной промышленности Украины до 2030 года.

2.8.3. Использование торфа на удобрение и мелиорацию почв. Для производства и заготовки органических и/или органо-минеральных удобрений и мелиорантов традиционно используют имеющиеся местные торфяные ресурсы и органо-иловые отложения (сапропели). Последние получают в процессе очистки обмелевших озер, прудов, водохранилищ с целью восстановления или создания рыболовных предприятий.

Для качественной агрохимической оценки торфа необходимо определить содержание в нем биогенных элементов, прежде всего азота, фосфора, калия, кальция, золы и перегноя [52, 53, 24]. Ми-

неральные илистые частицы, попадая в торфяную среду, высвобождают закисные соединения железа, оглеиваются, поэтому такой иловый торф при использовании в качестве почвенных субстратов-мелиорантов и удобрений требует тщательного проветривания и дополнительного обогащения азотными минеральными удобрениями и свежей органикой. На подстилку скоту и для компостирования с жидким навозом иловый торф малопригоден. Однако он является ценным мелиорантом для супесчаных и песчаных почв.

Торф с высоким содержанием карбонатов кальция (10 и более мас. %) после предварительного компостирования успешно можно применять для химической мелиорации и удобрения кислых почв. Отдельные торфяники, которые образовались в поймах рек Левобережной Лесостепи, могут иметь повышенное содержание водорастворимых токсичных солей (более 0,05 мас. %), которые ухудшают их удобрительные свойства. Удобрительное качество торфа ухудшается также вследствие засорения его песком, что имеет место на Полесье вследствие развития ветровой эрозии, а также из-за высокого содержания битумов, куда входят жиры и восковые смолы. Битумы делают торф гидрофобным и устойчивым к биохимическому разложению, что также снижает его агрохимическое качество. Зато битумный торф высоко ценится в медицине и химической промышленности. Теплотворная способность таких торфов существенно повышается. Нельзя использовать загрязненные радионуклидами торфа. Агрохимические свойства торфа улучшаются при условии наличия в нем вивианита $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ – содержание фосфора в вивианитовых торфах может вырасти до 1 мас. %.

Разнообразие торфов требует соблюдения определенных требований по их качественным показателям в зависимости от целевого назначения. Применение чистого торфа как органического удобрения не является эффективной мерой из-за его биохимической консервативности. Чистый торф улучшает агрофизические свойства и водно-воздушный режим многих почв, то есть его можно отнести к мелиорантам, однако как источник питательных веществ проявляет себя только в последствии. Поэтому используют различные способы активизации торфяного потенциала того или иного торфа.

Одним из таких способов является использование торфа для компостирования и на подстилку. Для промышленного производства традиционных торфо-минерально-аммонийных удобрений (ТМАУ) используют фрезерный торф различных типов, зольностью не выше 30 %. Действующей основой ТМАУ является азот поглощенного аммиака, иммобилизованный азот торфа, биогенных минеральных добавок, а также физиологически активные гуматы аммония. ТМАУ различных марок должны поступать в торговую сеть с сертификатом качества, за нормативное соответствие которого несет полную ответственность непосредственно производитель удобрений.

В небольших объемах торф (верховой) поставляется тепличным хозяйствам. В Украине его запасы слишком ограничены и составляют менее 5 % от общих запасов торфа. Поэтому добыча верхового торфа незначительна (на торфяных предприятиях «Ивано-Франковск-торф» и «Житомир-торф»), не удовлетворяет потребности внутреннего рынка [11].

Однако следует заметить, что отдельные виды низкозольных торфов низинного типа благодаря повышенному содержанию питательных веществ и гуматов, нейтральной и слабокислой реакции, высокой буферной способности имеют значительные преимущества перед верховым торфом. Поэтому спрос на низинный торф высокого агрохимического качества также будет постоянно расти.

Слабо разложенный низинный и верховой торф успешно компостируется с бесподстилочным навозом, птичьим пометом, осадками жидкого навоза и городских сточных вод. Последних в Украине ежегодно накапливается до 1 600 000 т (сухое вещество). Кроме этого, с прошлых лет накопилось и не утилизировано более 30 млн т (сухое вещество) осадков сточных вод городских очистных сооружений. Значительную часть этих осадков можно утилизировать, компостируя их с торфом согласно с существующим технологиям, и получать органические удобрения высокого качества. Они пригодны для внесения под зерновые на фураж, кормовые культуры, картофель для переработки на крахмал и спирт, масличные и прядильные культуры как техническое сырье для перерабатывающей промышленности, а также для применения в цветоводстве, зеленом, лесопарковом хозяйстве и т. п.

Кроме органо-минеральных удобрений, торф используют для производства бактериальных препаратов и биологически активных веществ (БАВ). Среди них наиболее распространены гуматы натрия и аммония, агрофил, ризоторфин, флавобактерин, биоторфяное удобрение (БТУ) и другие. Применение этих препаратов путем обработки семян или рассады повышает производительность культур, обеспечивает растения биологическим азотом. Биопрепараты продуцируют стимуляторы роста и развития растений, обеспечивают их устойчивость к повреждению фитопатогенами.

Производство торфяных удобрений и мелиорантов, другой торфяной продукции в Украине для нужд сельского хозяйства является перспективным и должно занимать приоритетное место в дея-

тельности предприятий торфяной промышленности в контексте единой Государственной программы по комплексному использованию торфяно-земельных ресурсов Украины.

2.8.4. Использование торфа на топливо и другие несельскохозяйственные нужды. Добыча торфа на топливо воспринимается как вынужденная необходимость. Экологическая оценка этого направления использования признана отрицательной. Темпы потерь торфяных ресурсов в условиях сжигания слишком высокие и вместе с потерями из-за минерализации торфа на осушенных землях ведут фактически к быстрому исчерпанию запасов торфа. Однако полностью отказаться от местных потребностей в топливном торфе невозможно из-за дефицита энергетических ресурсов. Для многих сел, поселков и малых городов Украины торфяные брикеты остаются необходимым и дешевым местным топливом. Производство торфобрикетов и кускового торфа для коммунально-бытового потребления в настоящее время слишком ограничено. Однако спрос на торфобрикеты у населения и предприятий коммунальной теплоэнергетики растет, так как себестоимость топливного торфа почти в 2–2,5 раза дешевле угля, дров, газа или мазута в расчете на энергетические эквиваленты.

Максимального уровня ежегодная добыча торфа на топливо достигла в 1980–1985 гг. и составила 2,7 млн т. В настоящее время добыча торфа уменьшилась до 600 тыс. т. Согласно программе развития торфяной промышленности Украины ежегодную добычу торфа целесообразно стабилизировать на уровне 1,5–2,0 млн т. При этом предусмотрено существенно повысить эффективность использования топливного торфа, внедряя новейшие технологии его заготовки и сжигание, в частности технологию газификации. Перспективным, альтернативным и восстановительным энергетическим источником является выращивание быстрорастущей фитомассы на выработанных и изношенных торфяниках для переработки и получения твердого, жидкого и газообразного биотоплива.

Торф является ценным сырьем для химической промышленности. Например, в Беларуси впервые реализован экстракционный способ производства торфяного воска в промышленном масштабе. Из торфа производят спирт, краски для дерева, кожи, тканей и волокон, различные сорбенты для очистки территорий и акваторий от нефти, нефтепродуктов, радионуклидов, тяжелых металлов.

Торф успешно используют в медицине, косметологии. В этих сферах деятельности постоянно расширяется применение основных составляющих торфа, и прежде всего его гуминового комплекса.

Торфяное сырье все больше привлекает и расширяет круг заинтересованных специалистов и бизнес-структур. Нет сомнения, что наиболее весомо торфяные ресурсы и в дальнейшем будут использоваться для нужд агропроизводства. Проблема эффективной гармонизации различных направлений использования торфяных земель Украины в контексте социальных потребностей и экологических требований стоит слишком остро. Данную проблему можно решить, всесторонне обосновав программу комплексного использования торфяных ресурсов Украины.

2.8.5. Природоохранное направление. Это направление предусматривает использование торфяных земель в природоохранных, познавательных и рекреационных целях. Общая площадь существующего в настоящее время природоохранного торфяного земельного фонда Украины слишком ограничена и составляет лишь 3,2 % от их общей площади. Отдельные, с мощными запасами и глубиной, площади верховых торфяников в рамках природоохранного фонда целесообразно зарезервировать как запасные месторождения для того, чтобы Украина в случае острой необходимости смогла удовлетворить внутренние потребности в собственной сырьевой базе ценного торфа и фитомассы. При частичной добыче остро стоит вопрос восстановления запасов верхового торфа путем ренатурализации выработанных верховых торфяников (их повторного и ускоренного заторфовывания). Данные вопросы не изучены, их следует считать актуальными и требующими проведения комплексных научно-исследовательских работ, целевой задачей которых является необходимость решения вопросов по устранению дефицита торфа на внутренних рынках.

Очень важно повышать эффективность использования торфяных земель природоохранного фонда. Биологические ресурсы торфяных болот очень разнообразны. Здесь можно производить восстановительное кустарниковое и древесное сырье, успешно создавать высокопроизводительные плантации ценных ягод: клюквы, морошки, брусники, черники, а также лекарственных и медоносных растений, грибов.

Биогеоценозы торфяных болот природоохранного фонда можно насыщать охотничьей болотной дичью, которая здесь находит экологическую нишу, успешно гнездится и размножается. Не следует забывать, что болота играют важную функцию на пути континентальных миграций многих водно-болотных видов птиц как места их временного или длительного пребывания и питания.

Таким образом, фауна-флористический мир болот является своеобразным и очень разнообразным. Это разнообразие можно восстанавливать и развивать, расширив природоохранный фонд тор-

фяных земель за счет ренатурализации выработанных и деградированных торфяников. Во многих странах мира, и в частности в соседней Беларуси, эффективно реализуется проект «ренатурализации и устойчивого управления торфяными болотами для предотвращения деградации земель, изменения климата и сохранения глобально значимого биологического разнообразия». Для украинского Полесья аналогичный проект также актуален. Он должен переноситься в натуру на основе международного и национального опыта на типичных, не менее чем на 10 пилотных объектах, что позволит апробировать существующие технологии ренатурализации деградированных торфяных почв и торфяников.

2.9. Торфяные месторождения и тепловой эффект

Роль торфяно-болотных комплексов исследуется давно [44]. Главные проявления влияния торфяных месторождений и болот на экологию регионов – это поддержание водного баланса территории; регулирование стока малых рек и речных систем; специфические условия для функционирования и развития растительного и животного мира; газовый баланс в атмосфере Земли. Последний – объект рассмотрения в данной работе. Причиной такого внимания стал не только планетарный масштаб проблемы потепления климата, но и результаты исследований, которые заставляют по-другому воспринимать известные и обычные факты.

Ученые и специалисты, а также широкие круги населения в той или иной степени знакомы с тепловым эффектом, следствием которого является глобальное потепление на планете. Суть его заключается в том, что углекислый газ (CO_2), метан (CH_4) и оксид азота (N_2O), входящие в группу так называемых тепловых газов (ТГ), вместе с водяным паром, озоном и другими ТГ поглощают инфракрасное излучение, что исходит от поверхности, и уменьшают передачу энергии Земли в космос. Увеличение концентрации ТГ в атмосфере приводит к повышению температуры поверхности планеты. Естественно, что это со всеми вытекающими из него последствиями требует дополнительного внимания к тепловым газам техногенного происхождения и их отношению к природным факторам, которые способны поглощать «лишние» ТГ.

В течение последних десятилетий неосушенные торфяные месторождения и болота, несомненно, считаются поглотителями и аккумуляторами атмосферного углерода. Соответствующим стало и мнение экологов: поскольку осушение торфяных месторождений приводит к потере функции накопления углерода, то оно объективно вредит природе [40].

Еще в 2000 г. группа ученых Финляндии, США, Великобритании закончила выполнение заказа Министерства торговли и промышленности Финляндии на исследование «Роль торфа в тепловом газовом балансе Финляндии». Работа выполнялась в плане реализации рамочной конференции об изменении климата, принятой Генеральной Ассамблеей ООН на саммите в 1992 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия) и скрепленной подписями 154 стран, а также протоколом Межправительственного совещания об изменении климата, состоявшегося в 1997 г. в Киото. На основании этих совещаний и протоколов следует отметить принятые существенные поправки к познанию роли торфа в тепловом газовом балансе. Из него следует, что растительный покров неосушенного торфяника в результате фотосинтеза органического вещества поглощает CO_2 из атмосферы. Торф при этом образуется путем неполного разложения растительных остатков в условиях избыточного увлажнения и недостатка кислорода. По мере нарастания толщи пласта торфа все более заметную роль начинают играть процессы анаэробного разложения органического вещества (ниже уровня стояния грунтовых вод).

Таким образом, из недр неосушенных месторождений и болот в атмосферу поступает все больше метана, способного поглощать инфракрасные лучи.

Вывод: неосушенные торфяные болота не только поглощают углекислый газ из атмосферы и аккумулируют углерод, но и генерируют метан, который как тепловой газ значительно опаснее диоксида углерода.

Для Финляндии количество метана, генерируемого с неосушенного торфяника, составляет $29,78 \text{ г/м}^2$ (по другим данным – 70 г/м^2). Уменьшить эмиссию метана можно частичным осушением залежи. Этим достигается уменьшение зоны анаэробного разложения торфа.

Но в то же время снижение уровня залегания грунтовых вод и уменьшение влажности залежи приводит к активизации процессов аэробного разложения растительных остатков в торфяном слое и к снижению темпов и (даже) полной остановке торфообразования. Поэтому в качестве наиболее эффективного средства восстановления поглощения атмосферного CO_2 предлагаются посадки леса на поверхности осушенных торфяников и болот.

Данные исследований этой сложной проблемы на 10 участках торфяных залежей Финляндии показали, что осушение, в том числе торфяных залежей, более чем вдвое (с 75 до 164 г/год) увеличи-

вает поглощение торфом CO_2 и более чем в 8 раз (с 13,5 до 1,6 г/м²) снижает выделение метана в атмосферу.

Как вариант рассмотрено также использование торфяной залежи в качестве сельскохозяйственных угодий. Подтвердилось, что торф, особенно при выращивании пропашных культур, увеличивает эмиссию тепловых газов, в частности CO_2 и N_2O при некотором уменьшении выделения CH_4 .

Отвод осушенных площадей торфяников под добычу торфа, по данным отдельных авторов [44, 40] приводит к тому, что при этом поверхность поля увеличивает только эмиссию CO_2 , а поступление в атмосферу CH_4 и N_2O остается незначительным.

Как следует из изложенного, выбор способов управления отношениями торф – атмосфера является сложным и требует дальнейших исследований этих процессов.

2.10. О преобразовании торфа в восстанавливаемый ресурс

Мы живем во время, когда человечество осознает исчерпаемость большинства природных ресурсов и пытается применять адекватные меры для недопущения катаклизмов, связанных с последствиями техногенного воздействия на окружающую среду [11].

Торфяные залежи являются важным звеном в экологической системе регионов и планеты в целом. Поэтому понятна и тревога, с которой во многих странах относятся к разработке торфяных месторождений, пытаются ограничить ее масштабы или полностью запретить деятельность на их территориях. Но торф давно стал привычным объектом труда, товаром широкого спектра использования, отказаться от которого трудно. Последний тезис побуждает нас воздерживаться от крайностей и, вместе с тем, требует задуматься над необходимостью повышения культуры использования торфяных месторождений. Высоким уровнем такой культуры должно стать превращение торфяных ресурсов в возобновляемые.

Современные торфяные месторождения начали формироваться в послеледниковом периоде – голоцене. На тех месторождениях, где сохранились необходимые условия, процессы торфообразования и накопления продолжаются и сейчас. Их темпы зависят от многих факторов, ведущими из которых можно считать климат, степень обводненности залежей и состав растительного покрова месторождения. При этом фактор теплого климата интенсифицирует разложение органического вещества отмерших растений-торфообразователей, уменьшая тем самым количество торфа.

Ежегодный прирост толщи пласта торфяных залежей в Украине оценивается в 0,40–0,68 мм. Если умножить эти цифры на возраст месторождений (10–12 тыс. лет), то получим значение толщи пласта в 4–8 м. Залежи такой глубины в Украине есть, что свидетельствует о реальности указанных значений темпа их прироста (в том числе и в СЗР Украины).

Исследования последнего десятилетия показали, что старые, неосушенные торфяные залежи с устойчивым толстым слоем торфа генерируют большое количество опасного теплового газа – CH_4 (см. выше). Бактерии производят метан, перерабатывая органическое вещество торфа, поэтому процессы торфонакопления на молодых и старых месторождениях заметно различаются.

На молодых месторождениях анаэробная зона не является большой, а деятельность метаногенных бактерий подавлена, а то и вовсе отсутствует. На старых месторождениях процессы торфообразования (в верхнем торфогенном слое) протекают одновременно с процессами распада органики торфа в нижних анаэробных слоях, в которых образуется метан. По соотношению этих двух противоположных процессов установлено, что в течение первых 500 лет прирост толщи пласта молодых месторождений достигает 0,9 мм в год. Благодаря более быстрому приросту пласта и меньшей эмиссии тепловых газов молодые торфяники более полезны с экологической точки зрения.

Следовательно, будет лучшей такая организация хозяйства в торфяных регионах, при которой торфяные ресурсы не будут истощаться и станут возобновляемыми. Это напоминает организацию производства лесного хозяйства, когда вырубка и обновление леса становятся сбалансированными. Эксплуатация торфяных залежей также должна проводиться таким образом, чтобы выработка, добыча торфа, вторичное заболачивание, заторфовывание и торфонакопление осуществлялись в такой последовательности и объемах, чтобы суммарные запасы их в регионах оставались неизменяемыми. Возможно ли это? Рассмотрим это на примере Ровенской области.

Суммарная площадь торфяных залежей в пределах промышленной глубины составляет около 134 тыс. га. Если в сферу хозяйствования будут привлечены 100 тыс. га, то при темпе прироста толщи залежи 0,9 мм/год на этой площади ежегодно будет образовываться 900 тыс. м³, или около 135 тыс. т торфа условной влажности, приближенно соответствующей объему добычи торфа предприятием «Ровноторф».

Положительной стороной предлагаемой схемы является и то, что при ней будут формироваться торфяники, которые генерируют метан, а молодые в процессе интенсивного развития будут интенсивно поглощать из атмосферы тепловой газ – CO₂, почти не производя метана.

Следует отметить, что указанные значения прироста толщи пласта торфа 0,40–0,68 мм/год целесообразно считать предельными. Благодаря внесению минеральных удобрений, оптимальному подбору растений-торфообразователей, регулированию водного режима территории интенсивность прироста биомассы можно увеличить. Эти меры будут способствовать более быстрому восстановлению торфяных ресурсов региона, для чего необходим также высокий уровень организации управления и контроля за внедрением научных разработок в практику, в том числе на основе объединения усилий специалистов из соседних по природным условиям стран.

2.11. Мелиорации земель: что привело к падению престижа?

Будут ли они нужны в будущем?

Мелиорации земель были (и есть) общепризнанным условием (фоном) поддержания, повышения плодородия почв и урожаев как в условиях недостаточного, так и избыточного (неустойчивого) увлажнения. Но даже такие авторитеты агрономической науки, как В. В. Докучаев, А. Н. Соколовский, М. К. Крупский, С. Гринь, А. Н. Гринченко, А. Н. Можейко, их ученики и сподвижники, признавая важность и необходимость гидротехнических и сельскохозяйственных мелиораций, не исключали возможности их отрицательного влияния на окружающую среду, и в первую очередь на почвы, растительный покров, грунтовые и подземные воды. Более того, они предупреждали о необходимости учета при мелиоративном строительстве конкретных почвенных, гидрологических, в целом – ландшафтных условий. А выдающийся знаток природы В. В. Докучаев в работе «По вопросу об осушении болот и, в частности, об осушении болот Полесья» писал, что в будущем может стать даже так, что сама борьба с болотами в ряде случаев была нежелательной.

И в настоящее время на встречах с молодежью, на конференциях, нам, работникам водного и сельского хозяйства, часто задают вопрос: почему вместе с теми, кто выступает против мелиорации вообще, чьи голоса слышны буквально из всех средств массовой информации, практически нет тех, кого эта проблема касается в первую очередь, тех, кто работает в этой или смежных областях знаний и практики и кто трактуется общественным мнением виновником почти всех бед и неудач в окружающей нас среде [32, 5].

И действительно, вызывает недоумение: почему на страницах газет, журналов, по радио и телевидению почти не слышно мнений, разъяснений по этой проблеме, почему дается мало мнений агрономов, почвоведов, агрохимиков, экологов, самих работников мелиорации и водного хозяйства, наконец – работников полей, лиц, решающих эту проблему на местах? Не являемся ли мы заложниками и свидетелями очередных метаний? Ведь с пьедестала недавней похвалы мелиорации мелиораторы скатились к понятиям, если не к сварливым, то, по крайней мере, с отпугивающим оттенком.

Отвечая на эти обвинения, мы пытались подойти к проблеме объективно. Именно такой подход может стать интересным и для широкой общественности, и для выработки стратегической линии – отношения к проблеме мелиорации земель на перспективу.

Треть кормов, половину овощей Украина получала с мелиорированных земель. Однако эффективность их использования была и остается далеко не той, какой она должна быть. Не решив в свое время задач по развитию земледелия и использования торфа как энергетического ресурса, с помощью «трех китов» – мелиорации, механизации и химизации, некоторые бросаются в очередную крайность, становятся на путь недооценки то одной, то другой составляющих этого взаимосвязанного комплекса, исключают из него сельскохозяйственные, гидротехнические и энергетические компоненты.

Можно привести много примеров того, как на фоне мелиорации земель хозяйства различных почвенно-климатических зон, из которых отдельные и в Украине встали на ноги, подняли свою экономику, успешно решали и решают на ее основе социальные проблемы. Можно привести столько же, если не больше, неудачных для мелиораторов примеров. Но в нашу задачу сегодня не входит доведение важности мелиорации земель (она несомненна), а в большей степени – акцентирование внимания на эффективных методах их использования, в том числе торфоресурсов.

Дело значительно сложнее. Сразу же необходимо оговориться, что здесь нет возможности остановиться на анализе состояния и перспектив использования водных ресурсов в мелиоративных целях, потому что это сложная и отдельная проблема.

Бывшая «гигантомания» – болезнь не только мелиорации, причина падения ее престижа. Если размышлять самокритично, то специалистам от мелиорации и смежных отраслей в перестроечный период пришлось набрать в рот воды в первую очередь потому, что в недалеком прошлом в планиро-

вании объемов мелиоративных работ часто имела место погоня за площадями, гектарами, дешевизной в ущерб качеству проектирования и, особенно, строительства мелиоративных систем для земледелия и использования торфо-земельных энергоресурсов, их эксплуатации. Допускалась диспропорция между вводом площадей, возможностью их освоения и использования. Игнорировались выводы ученых о существовании прямой связи между эффективностью использования мелиорированных гидротехнически площадей и фондовооруженностью конкретных хозяйств, предприятий. В зоне орошения такой подход требовал резкой потребности в воде или же ее экономии, появления (преждевременной) идеи забора воды из рек, что ее несут, без достаточного и всестороннего обоснования.

Теперь, очевидно, никто не станет утверждать, что мелиорация земель означает «улучшение». Под мелиорацией понимается комплекс мероприятий, относящихся к воздействию на объекты мелиорации – почву, а через него на выращиваемые растения. И, говоря о комплексных мелиорациях, необходимо рассматривать в первую очередь то, что происходит под влиянием осушения, орошения с почвой, как они влияют на гидрологический режим территории, флору и фауну, урожай, а также на социальные процессы, в конечном итоге – реализации выгод от мелиораций по использованию почвы и торфоресурсов с регулируемым водно-воздушным режимом в конкретном регионе, хозяйстве.

Именно поэтому жизненно важные стороны мелиорации обратили внимание общественности на предупреждение гиперболизации проблемы. Ни одно отдельно взятое воздействие на почву и торфоресурсы не может стать панацеей от всех бед. Гидротехническая мелиорация – лишь фон для применения на нем комплекса агро-мелиоративных, агротехнических, организационно-хозяйственных и других мероприятий.

Земля как естественная категория, а ее составная часть – почва как средство производства – не «кладовая», из которой бесконечно можно получать урожаи. Рост эффективного плодородия почвы (измеряемый урожаем) на фоне регулирования водно-воздушного режима за счет активизации микробиологических процессов – явление кратковременное. «Сливки» плодородия снимаются быстро, почвы становятся истощенными. Даже чернозем, почва высокого естественного плодородия, теряет структурность, со временем становится слитой, на ней образуется корка. «Царь почв» под влиянием орошения, осушения, обработки превращается в «нищего». А что происходит с осушенными торфяниками под влиянием их использования? Выработка торфа без наложения на гидротехническую мелиорацию комплекса необходимых мер приводит к деградации.

Без внесения удобрений, без химической мелиорации, которая сегодня сведена к минимуму, не может быть и речи о высоком и стабильном урожае даже на фоне гидротехнической мелиорации. Вступают в силу законы возвращения, равнозначности и незаменимости факторов плодородия и условий урожая. Особых усилий, знаний и умений их применения требует решение проблемы рекультивации выработанных торфяников.

За незначительным исключением, на местах сегодня невозможно получить информацию о количестве и ассортименте вносимых в осушенные земли удобрений. А если такие сведения есть, то они свидетельствуют о том, что в эти почвы вносят удобрений на порядок меньше, чем нужно. Высокий урожай кормов – продуктивнее животноводство, больше органического удобрения.

Многолетний опыт использования мелиорированных (в том числе торфяных) земель в Ровенской области (а она была пионером этого начинания в Украине), говорит о преимуществах создания на этих землях пастбищ, сенокосов, так как выход кормовых единиц с гектара площади при таком использовании составляет 100 и более единиц.

«Дарственность» воды, отсутствие забот о ее экономии, а отсюда – распространенность явлений вторичного заболачивания мелиорированных гидротехнических земель – проблема, трудно решаемая в условиях реформирования АПК.

Высокая энерго- и фондоемкость мелиоративных работ – следствие недостаточного использования достижений научно-технического прогресса и передового опыта, и результатов исследований.

Еще одна причина низкой производительности – качество выполняемых работ. Эта сторона деятельности – ключевая, и решение ее зависит от кадрового обеспечения вузов, средних специальных учебных заведений, уровня их материально-технического обеспечения. Средств на эту отрасль выделяется мало, и они распыляются. При наличии специализированного НУВХП, с хорошей кадровой и учебно-материальной базой, набор на эту и родственные ей специальности постоянно уменьшается. Положительным является то, что НУВХП открыл ряд филиалов на местах, где в специалистах такого профиля есть потребность.

Таковы последствия, которые вызвали обоснованную критику мелиорации и мелиораторов и свидетельствуют о необходимости направлять усилия на выработку, изобретение путей и способов

организации работ по реконструкции мелиоративных систем, поддержание плодородия земель на них, включая рекультивацию болот и выработанных торфяников в СЗР Украины.

Выводы

Торф – начальное звено в генетическом ряде каустобиолитов: высшие растения – залежи торфяных болот – торфа гумусовые – бурый уголь, лигниты, гагаты – каменный уголь – антрацит – графит. Природа торфа побуждает рассматривать это преимущественно органическое образование не как горную породу, а как биомассу болотных растений, подвергшуюся неполному биохимическому разложению. Это разложение имеет место преимущественно в процессе торфообразования, в верхнем (торфогенном) слое залежи. В глубине пласта неосушенной торфяной залежи изменения свойств торфа незначительны.

После осушения торфяного месторождения начинает происходить ускоренное разложение органического вещества торфа, сопровождаемое эмиссией углекислого газа (CO_2) в атмосферу и минерализацией торфа. При сельскохозяйственном использовании осушенных торфяных почв ежегодные потери органического вещества составляют от 2 т/га (при выращивании многолетних трав) до 10 т/га при выращивании пропашных культур. Генезис и свойства торфа позволяют утверждать, что ему в значительной степени присущи свойства биомассы (болотных растений), которая в осушенном состоянии подвергается разложению.

Ведущим признаком соответствия торфа «зеленому» тарифу является его возобновляемость. Прирост торфяного пласта с темпом до 1 мм в год является медленным, но при соответствующей организации управления процессами добычи торфа и восстановления выработанных торфяных месторождений на достаточно большой подконтрольной территории может быть достигнут баланс между количествами добытого и образованного торфа, то есть его возобновляемость как ресурса. Эта гипотеза неоднократно произносилась на конференциях и в публикациях в Украине и за рубежом и она всегда находила понимание и поддержку.

Тема целесообразности сработки старых неосушенных торфяников стала актуальной после исследований эмиссии метана (CH_4) с их поверхности. Метан – опасный парниковый газ, экранирующее свойство которого более чем в 20 раз превышает соответствующий показатель углекислого газа. Это делает биосферную роль старых неосушенных торфяников двойной: в ходе фотосинтеза органического вещества болотные растения-торфообразователи на поверхности месторождений забирают из атмосферы углерод и депонируют его в состав торфа (положительная роль), а из глубины залежи в атмосферу выделяется метан (отрицательная роль).

Стремление придать торфяникам только положительную биосферную роль и сформировало позицию о целесообразности организации такого хозяйствования на подконтрольной территории, при котором старые торфяные месторождения срабатываются, на выработанных площадях создаются условия для повторного заболачивания и формирования молодых торфяников, которые поглощают и депонируют атмосферный карбон и не создают эмиссию метана. При этом важно правильно определить биосферно-совместимые масштабы добычи торфа и необходимую площадь хозяйственной деятельности.

В итоге можно отметить следующее:

- 1) торфам в значительной степени присущи свойства биомассы (болотных растений), которая в осушенном состоянии подвергается распаду и поставляет в атмосферу парниковый газ;
- 2) при правильной организации хозяйства в регионе (биосферно-совместимый масштаб добычи, обеспечение условий для реабилитации и ренатурализации торфяников) торф может стать возобновляемым ресурсом с однозначно положительной ролью торфяных месторождений в аспекте предотвращения глобального потепления.

Именно при таких условиях могут быть созданы логические основы положительного решения на законодательном уровне вопроса о предоставлении «зеленого» тарифа энергии, полученной с использованием торфа в качестве энергоносителя.

Литература

1. Наказ Міністерства меліорації і водного господарства УРСР № 222 від 11.04.1979. – Київ, 1979. – 33 с.
2. Народонаселение стран мира. – М.: Финансы и статистика, 1973. – 477 с.
3. Веденичев П. В. Земельные ресурсы Украинской ССР и их хозяйственное использование. – Киев: Наук. Думка, 1972. – 175 с.
4. Куракова Л. И. Современные ландшафты и хозяйственная деятельность. – М.: Просвещение, 1983. – 159 с.

5. Вплив осушення і використання на властивості перезволожених ґрунтів ПЗР України (підсумковий огляд наслідків досліджень вчених НУВГП, споріднених установ і закладів) з названої проблеми за станом до 2012 р. / С. Т. Вознюк [та ін.] // Вісник НУВГП. – 2012. – № 2.
6. Зубець М. В., Балюк С. А., Медведєв В. В. Сучасний стан ґрунтового покриву України і невідкладні заходи його охорони. Агрохімія і ґрунтознавство // Спецвипуск до VII з'їзду ТГА України. – Харків, 2010. – С. 7–18.
7. Стан родючості ґрунтів України і шляхи їх поліпшення / В. В. Медведєв [та ін.]. – Харків: Штрих, 2001. – 98 с.
8. Медведєв В. В., Лісовий М. Б. Стан родючості ґрунтів України і шляхи їх поліпшення. – Харків: Штрих, 2001. – 98 с.
9. До питання про необхідність посилення стійкості гідротехнічно-меліорованих ґрунтів ПЗР України (в умовах реформування земельних відносин / С. Т. Вознюк [та ін.] // Генеза, географія та екологія ґрунтів : збірник наукових праць / Львівський НУ. – Львів, 2008. – С. 121–127.
10. Клименко М. О., Вознюк Н. М. Екологічний стан української частини Єврорегіону «Буг». – Рівне: НУВГП, 2007. – 203 с.
11. Боднарчук Т. В., Вознюк С. Т., Гнеушев В. А. О превращении торфа в возобновляемый ресурс. – Ровно УИИВХ, 1997. – С. 92–93.
12. Стариков Х. Н. Увлажнение осушаемых торфяников. – М.: Колос, 1977. – 363 с.
13. Зайдельман Ф. Р. Минеральные и торфяные почвы полесских ландшафтов. – М.: Моск. ун-т, 2012. – 411 с.
14. Ґрунтознавство. Підручник / Д. Г. Тихоненко [та ін.]. – Київ: Вища освіта, 2005. – 697 с.
15. Стрілець Б. І., Вознюк С. Т. Основные направления исследований в области гидротехнических мелиораций. – Львів: Вища школа, 1986. – 38 с.
16. Зеров Д. К. Болота УРСР. – Киев, 1938. – 64 с.
17. Середа Н. И. О критической влажности торфяных почв // Науч. тр. УНИИГиМ. – 1954. – 79–84 с.
18. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. – М. Недра, 1976. – 488 с.
19. Трускавецький Р. С. Торфові ґрунти і торфовища України / НААН України, ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського. – Харків, 2010. – 210 с.
20. Перезволожені ґрунти та їх меліорація / С. Т. Вознюк [та ін.]. – Київ: Урожай, 1984. – 152 с.
21. Вознюк С. Т., Музика В. А. Рослинний покрив і його роль у формуванні гідролого-геохімічних передумов у Північно-Західному регіоні України (на прикладі басейну ріки Іква.) // Збірка доповідей VI Міжнародної наукової конференції, присвяченої 75-річчю Донецького НУ. – Донецьк, 2007. – Т. 1. – С. 192–194.
22. Соколовський А. Н. Сельскохозяйственное почвоведение (Болотный процесс). – М.: Госсельхозиздат, 1956. – С. 263, 274, 275.
23. Вознюк С. Т., Олиневич В. А., Кардашов А. Т. Температурный режим осушенных торфяников Западного Полесья УССР. Мелиорация и водное хозяйство. – Киев: Урожай, 1977. – С. 42–48.
24. Довідник по використанню осушених земель / С. Т. Вознюк [та ін.]. – Київ: Урожай, 1987. – 192 с.
25. Кожушко Л. Ф. Технічне та екологічне вдосконалення дренажних систем гумідної зони // Водне господарство України. – Спецвипуск. – 1997. – С. 14–20.
26. Зайдельман Ф. Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. – М., 2009. – 750 с.
27. Проблемы землепользования на современном этапе. – Вып. 4. – Киев: Наук. Думка, 1989. – 48 с.
28. Лыко Д. В. Изменение водно-физических свойств торфяных почв Полесья под влиянием пескования // Почвоведение. – 1986. – № 10. – С. 91–95.
29. Мошинський В. С. Методи управління продуктивністю та екологічною стійкістю осушуваних земель: дисертація на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук. – Рівне ; Харків. – 320 с.
30. Зайдельман Ф. Р. Минеральные и торфяные почвы (на территории Вольно-Подольской возвышенности). – М., 2005. – 418 с.
31. Вознюк С. Т., Галкіна А. О., Олиневич В. О. Особенности регенерации ландшафтов на торфяных карьерах УССР. Комплексное использование торфа в народном хозяйстве. – Минск, 1981.
32. Меліорація земель: що приводить до падіння престижу? Будуть ли вони потрібні в майбутньому? / Вознюк С. Т. [та ін.] // Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва : наук. журн. – 2004. – № 1. С. 74–79.
33. Сташук В. А. Актуальні проблеми управління водними ресурсами в сучасних умовах // Водне господарство України. – 2003. – № 1–2. – С. 2–6.
34. Образцова А. А., Вознюк С. Т. Сезонная динамика микробиологических процессов в торфяных почвах реки Трубеж. – Вып. 4. – Киев: Наук. Думка, 1989. – 48 с.
35. Вознюк С. Т., Галкіна А. О. Водно-фізичні властивості вироблених торфовищ Полісся і Лісостепу України та Передкарпаття // Вісник с.-г. науки. – 1974. – № 9. – С. 48–53.
36. Геренчук К. І. Ландшафти західних областей України. Питання їх використання, охорони і перетворення. – Львів: Львівський ДУ, 1966.

37. Паников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрение, урожай. – М., 1989. – 512 с.
38. Вознюк С. Т., Трускавецкий Р. С., Горин Н. А. Про втрати продуктів мінералізації торфового ґрунту з дренажними водами // Вісник с.-г. науки. – 1968. – № 1. – С. 92–96.
39. Вознюк С. Т., Новикова Л. Д., Трускавецкий Р. С. Исследование торфов Украины в связи с использованием их как источника питания растений // Материалы зональной науч.-производ. конф. (Житомир, 3–5 марта 1965 г.). – Житомир ; Киев, 1967. – С. 116–125.
40. Вознюк С. Т., Мошинський В. С., Вознюк Н. М. Парниковий ефект можна контролювати // Водне господарство України. – 2001. – № 3–4.
41. Екологічна ситуація в Україні і шляхи її поліпшення / А. В. Яцик [та ін.]. – Київ, 2003. – 93 с.
42. Ефимов В. Н. Удобрение сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях. – М., 1998. – 460 с.
43. Бамбалов Н. Н. О восстановлении болот в Белоруссии // Материалы Междунар. конф. НАН Белоруссии / Ин-т проблем использования природных ресурсов и экологии. – Минск, 2000.
44. Гнеушев В. А., Сопо Р. Торфяные месторождения и тепличный эффект // Уголь Украины. Ассоциация торфяной промышленности Финляндии. – 2001. – 70–71 с.
45. Яцик А. В. Водний фактор у збалансованому розвитку України. – Київ: Полімер, 2007. – 71 с.
46. Алексеевський В. Є. Цветова О. В. Основні критерії еколого-меліоративного стану осушених земель // Меліорація: збірник УААН / УкрНДІГМ. – Київ, 2001. – С. 190–196.
47. Hneushev V. About the Transformation of Peat into a Renewed Resource // Pea Lands International Congress. – 2004. № 2. – Pp. 54–55.
48. Sapek A. Emisja gazów cieplarnych z rolnictwa // Zeszyty edukacyjne. – 1998. – № 5. – IMUZ. – S. 17–27.
49. Effects of Short – and Long – TERM wate petra vavrowa (enda) Effekt of Short – and Long – TERM water Livel Drowdown on Litter Quality in peatlands // Peatland Ecology / Dept. of forest Ecology ; Finnish Forest Research Institute. World Congress of Soil Science. Philadelphia. USA. – 2006. –9.12. – S. 94.
50. Nawrocki S. Rolnictwo a ochrona środowiska. Instytut melioracji i użytków zielonych. Землеробство і охорона середовища / переклад С. Вознюка. – Warszawa, 2001. – IMUZ – Falenty. – 12 s.
51. Слюсар І. Т. Осушені ґрунти Західної зони України, стан та їх використання // Вісник НУВГП. – Вип. 3 (39). – Рівне, 2007. – С. 384–390.
52. Балюк С. А., Трускавецкий Р. С., Ромащенко М. І. Меліорація ґрунтів в Україні. Стан, проблеми, перспективи // Агрохімія, ґрунтознавство : наук. збірник до VII з'їзду УТГ. – Кн. 1. – Харків, 2010. – С. 24–39.
53. Веремєєнко С. І. Еволюція та управління продуктивністю ґрунтів Полісся України. – Луцьк: Надстир'я, 1994. – С. 3–14.

Глава 3. КЛИМАТ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

3.1. Характеристика процессов образования климата Украинского Полесья

Закономерности обращения тепла, влаги и атмосферной циркуляции в климатической системе определяют многолетний режим метеорологических величин и явлений погоды. Распределение метеорологических величин в пространстве и времени обуславливает распределение локальных (региональных) климатов на Земном шаре. Локальный климат – это совокупность атмосферных условий за многолетний период, характерная для данной местности в зависимости от ее географического положения.

Теплообмен как один из процессов образования климата характеризует поступления, передачу, перенос и потери тепла между земной поверхностью и атмосферой. Теплообмен происходит путем излучения и теплопроводности. Кроме этого, в атмосфере теплообмен проходит в результате перемещения воздуха в вертикальном направлении, нагрева воды и конденсации водяного пара в атмосферу, горизонтальный перенос тепла воздушными течениями. Для данной территории оценка процесса теплообращения проведена с помощью характеристик радиационного режима и характеристик термического режима воздуха и почвы.

Между атмосферой и земной поверхностью проходит постоянный обмен влагой. С подстилающей поверхности испаряется вода, на это тратится большое количество тепла из почвы и верхних слоев воды. В атмосфере водяной пар конденсируется, в результате чего образуются облака и туманы. При определенных условиях из облаков выпадают осадки. Они в некоторой степени уравнивают испарения. Снежный покров обуславливает отражательную способность подстилающей поверхности и промерзания почвы. Для данной территории оценку процесса влагообращения проведена по характеристикам влажности воздуха, облачности, атмосферных осадков, снежного покрова и суммарного испарения.

Атмосферная циркуляция как процесс образования климата обусловлена неравномерным распределением тепла в атмосфере, что приводит к неравномерному распределению атмосферного давления и, как следствие, к движению воздуха. Совокупность основных воздушных течений, которые реализуют горизонтальный и вертикальный обмен масс воздуха, образует общую циркуляцию атмосферы. Ее проявлением и характерной чертой является образование циклонов и антициклонов. Для данной территории оценка атмосферной циркуляции проведена по характеристикам крупномасштабной циркуляции и синоптических процессов, по характеристикам атмосферного давления и ветра.

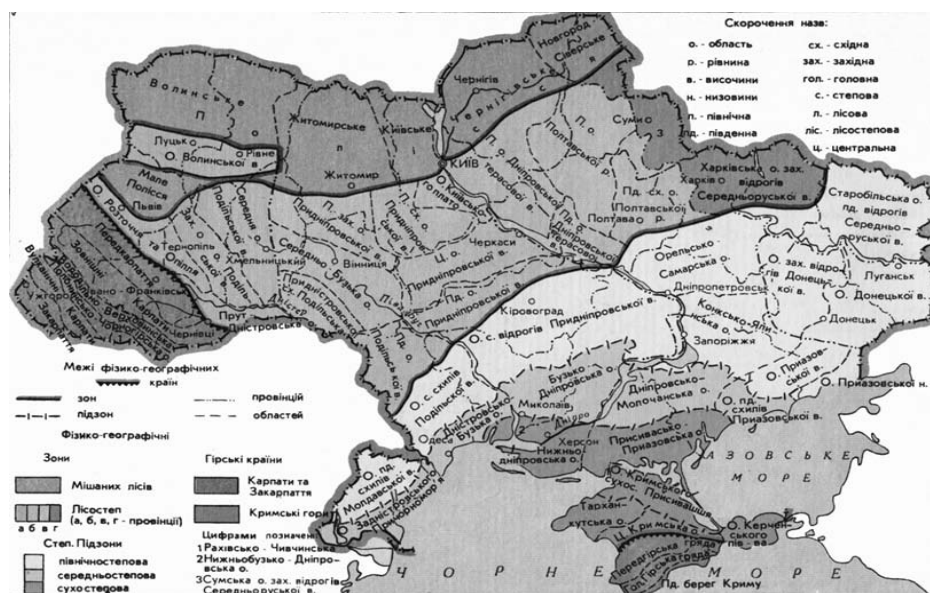


Рис. 3.1. Схема физико-географического районирования территории Полесья

Характеристика локального климата проведена на основе информации за период с 1961 по 1990 год [1, 2]. Этот период Всемирная метеорологическая организация определила как стандартный, что отражает современные климатические условия.

Климатические условия оценивались для территории, которая выделена по усовершенствованной схеме физико-географического районирования Украины [3] (рис. 3.1). Она отражает разделение территории на объективно существующие региональные ландшафтные единицы: зональные – пояс,

зона, подзона и аazonальные – страна, край, область, район. Эта находится в умеренном поясе, в пределах физико-географической зоны Восточно-Европейской равнины (юго-запад). Она выделена по морфоструктуре и характеризуется зональностью ландшафтов. Данная территория находится в физико-географической зоне смешанных лесов, формирование которой обусловлено, главным образом, определенным балансом тепла и влаги и литогенной основой. Зоны отличаются между собой соответствующими типами ландшафтов и делятся на края, выделенные по геолого-геоморфологическому строению, и климатическими особенностями (рост континентальности климата в восточном направлении). Эта территория охватывает Полесский край. В свою очередь, края делятся на области, каждая из которых отличается структурой видов ландшафтов. Территория включает следующие физико-географические области: Волынское Полесье, Малое Полесье, Житомирское Полесье, Киевское Полесье, Черниговское Полесье, Новгород-Северское Полесье. Ниже региональной единицей является физико-географический район, который имеет более или менее однородные ландшафты местности и разную интенсивность современных физико-географических процессов. На этой территории выделено 43 физико-географических района. При характеристике агроклиматических и агрогидрологических ресурсов территорию Полесья разделяют на три региона: Западное Полесье, Центральное Полесье, Восточное Полесье. Фактически: Западное Полесье включает две физико-географические области – Волынское и Малое Полесье; Центральное Полесье – Житомирское и Киевское Полесье; Восточное Полесье – Черниговское и Новгород-Северское Полесье.

Радиационный режим как часть теплообмена дает общее представление о закономерности солнечной радиации и радиационного баланса. Для исследуемой территории дана оценка целому ряду характеристик радиационного режима, а именно: продолжительность сияния солнца, суммарная солнечная радиация, альbedo подстилающей поверхности, баланс коротковолнового излучения, эффективное излучение, радиационный баланс подстилающей поверхности, фотосинтетически активная радиация (ФАР). Количественные показатели указанных характеристик радиационного режима приведены в таблице 3.1.

Суммарная солнечная радиация, достигающая земной поверхности, состоит из двух потоков: прямой (на горизонтальную поверхность) и рассеянной радиации. Поступление суммарной радиации зависит от высоты солнца, продолжительности дня, облачности и прозрачности атмосферы. Интегральные значения за год и за лето суммарной солнечной радиации приведены при средних условиях облачности. Распределение данных характеристик в Западном и Житомирском Полесье приближается к меридиональному, наблюдается тенденция к росту суммарной солнечной радиации с запада на восток. В Киевском Полесье виден переход к широтному распределению, то есть идет увеличение этой характеристики с северо-запада на юго-восток. Распределение суммарной солнечной радиации в Восточном Полесье приближается к широтному, то есть ее величины увеличиваются с севера на юг.

Альbedo показывает отражательную способность подстилающей поверхности и определяется процентным отношением отраженной солнечной радиации к суммарной солнечной радиации. Альbedo уменьшается с ростом высоты Солнца и в зимний период возрастает вследствие увеличения продолжительности и устойчивости снежного покрова. В течение года альbedo отличается стабильностью в теплый период года и имеет выраженное широтное распределение. В холодный период года она характеризуется значительной изменчивостью, что связано с неустойчивостью снежного покрова. Средние многолетние значения альbedo за январь в Западном Полесье растут с запада на восток. В Житомирском Полесье – уменьшаются с северо-запада на юго-восток. В других частях Полесья эта характеристика уменьшается с севера на юг.

Баланс коротковолнового излучения показывает количество поглощенной подстилающей поверхности коротковолновой радиации. Распределение этой характеристики радиационного режима в Западном Полесье близко к меридианальному, то есть наблюдается ее увеличение с запада на восток. В Центральном Полесье и Черниговском Полесье распределение перехода от меридианального до широтного – рост с юго-запада на юго-восток. Для Новгород-Северского Полесья характерен рост баланса с севера на юг.

Эффективное излучение определяется разницей между излучением земной поверхности и встречным излучением атмосферы. Эта характеристика радиационного режима показывает потерю длинноволнового излучения в ночные часы. Основными факторами, которые предопределяют распределение эффективного излучения, являются особенности режима облачности, температуры и влажности приземного слоя воздуха. В Западном и Житомирском Полесье эффективное излучение возрастает с запада на восток. В Киевском Полесье эта характеристика растет с северо-запада на юго-восток. В Черниговском Полесье наблюдается ее уменьшение с запада на восток. В Новгород-Северском Полесье она растет с юго-запада на северо-восток.

Средние многолетние значения характеристик радиационного режима

Показатели	Западное Полесье	Центральное Полесье		Восточное Полесье	
	Волынское и Малое Полесье	Житомир- ское Полесье	Киевское Полесье	Чернигов- ское Полесье	Новгород- Северское Полесье
1. Солнечное сияние, за год, ч	1800-1900	1750-1850	1750-1900	1750-1900	1750-1800
2. Сумарная солнечная радиация за год (МДж/м ²)	3500-3700	3700-3900	3900-4100	3900-4100	3800-3900
3. Сумарная солнечная радиация за лето (МДж/м ²)	1500-1600	1550-1650	1650-1750	1650-1750	1700-1750
4. Альbedo подстилающей поверхности (%), за теплый период (апрель-октябрь)	меньше 20	меньше 20	меньше 20	20-21	20-21
5. Альbedo подстилающей поверхности (%), (январь)	55-65	65-60	65-58	70-60	свыше 70
6. Сумма баланса коротковолновой радиации (МДж/м ²), за год	2400-2600	2600-2900	2800-3000	2800-3000	2800-2900
7. Сумма эффективного излучения (МДж/м ²) за год	1200-1300	1300-1400	1300-1400	1350-1300	1300-1350
8. Радиационный баланс (МДж/м ²), за год	1200-1400	1400-1650	1500-1750	1500-1750	1500-1600
9. Радиационный баланс (МДж/м ²), за лето	700-800	800-900	850-950	875-950	850-900
10. Радиационный баланс (МДж/м ²), за зиму	-80-65	-65-40	-50-30	-60-30	-65-50
11. Суммы ФАР (МДж/м ²) за вегетационный период (с температурой воздуха 5 ⁰ С и выше)	1650-1700	1650-1700	1650-1700	1600-1700	1550-1625

Радиационный баланс – это разница между поступлением и расходом лучистой энергии, поглощаемой и излучаемой подстилающей поверхностью и атмосферой или системой земная поверхность – атмосфера. Формирование радиационного баланса обусловлено продолжительностью солнечного сияния, облачностью, состоянием подстилающей поверхности. Суммы радиационного баланса за год растут в Западном и Житомирском Полесье с запада на восток. В Киевском Полесье распределение этой характеристики радиационного режима является переходным от меридианального до широтного, то есть он растет с северо-запада на юго-восток, в Восточном Полесье – широтным – рост с севера на юг. Аналогичны изменения суммы радиационного баланса за зиму и лето.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) – это излучение Солнца в диапазоне длин волн спектра 0,38–0,71 мкм, которое предопределяет фотосинтез растений. Характеристикой радиационного режима является сумма ФАР за вегетационный период с температурой воздуха 5⁰С и выше. Она характеризует энергетические ресурсы для сельскохозяйственных и других культур. Для территории Западного и Центрального Полесья распределение сумм ФАР за вегетационный период близко к широтному, то есть эта характеристика увеличивается с севера на юг. Для Восточного Полесья распределение указанной характеристики имеет переходный характер – от широтного до меридианального, то есть она уменьшается с юго-запада на северо-восток.

Тепловое состояние атмосферы характеризуется термическим режимом, то есть температурой воздуха и температурой почвы. На исследуемой территории распределение температуры воздуха обусловлено географическим положением, радиационным режимом, циркуляцией атмосферы и подстилающей поверхностью. В зимний период температура воздуха формируется под влиянием циркуляции атмосферы и соответственно под влиянием адвекции воздуха. В этот период самыми теплыми являются западные регионы, что связано с влиянием воздушных масс со Средиземного и Черного моря. С продвижением на восток температуры воздуха становятся ниже, что обусловлено более частыми вторжениями воздуха из Азии и Арктики. В целом зима имеет неустойчивый характер из-за частого чередования теплого и влажного, холодного и сухого воздуха. В летний сезон температура

воздуха определяется интенсивностью солнечной радиации и характером подстилающей поверхности. Наибольшая высота Солнца и продолжительность дня обеспечивают интенсивное прогревание воздуха подстилающей поверхности. Значение циркуляции атмосферы и соответственно адвекции воздуха уменьшается. Для летнего сезона характерно уменьшение контрастов температуры воздуха. Температура почвы определяется температурными условиями воздуха и, главным образом, поступлением солнечной радиации. Теплофизические свойства, механический состав, структура и влажность почвы, а также рельеф местности, растительный покров, снежный покров влияют на нагревание и охлаждение почвы.

Климатические особенности территории отражаются рядом показателей температуры воздуха, а именно: средняя за месяц температура воздуха (за июль и за январь); средняя за год температура воздуха; абсолютные максимумы и минимумы температуры воздуха за год; среднее число дней за год с температурой воздуха выше или ниже данного значения. Количественные характеристики термического режима воздуха приведены в таблице 3.2. Распределение средней температуры воздуха за год для Западного и Житомирского Полесья приближается к меридианальному. В Западном Полесье эта характеристика растет с запада на восток, а в Житомирском Полесье – уменьшается с запада на восток. Для Киевского и Восточного Полесья наблюдается рост средних за год температур воздуха с севера на юг. На территории Полесья самым холодным месяцем за год является январь, холодной декадой года – вторая декада января. Распределение этих характеристик температурного режима воздуха в Западном Полесье приближается к меридианальному, т. е. температуры уменьшаются с запада на восток. Распределение этих характеристик в Центральном и Восточном Полесье имеет переходный характер от меридианального до широтного – здесь наблюдается уменьшение температуры с юго-запада на северо-восток. Самым теплым месяцем на исследуемой территории является июль, а самой теплой декадой – первая декада августа. Территориальное распределение средней месячной температуры воздуха за июль и первую декаду августа характеризуется увеличением с запада на восток для Западного и Центрального Полесья и увеличением с севера на юг для Восточного Полесья.

Таблица 3.2

Характеристики термического режима поверхности почвы

Показатели	Западное Полесье	Центральное Полесье		Восточное Полесье	
	Волыньское и Малое Полесье	Житомирское Полесье	Киевское Полесье	Черниговское Полесье	Новгород-Северское Полесье
1. Средняя за месяц температура поверхности почвы (°C), январь	-5 -6	-6 -7,5	-7 -8	-8,5 - 7,5	-8,5 -9,5
2. Средняя за месяц температура поверхности почвы (°C), июль	+19 +21	+20 +22	+21 +23	+21 +23	+19 +23
3. Средняя дата первого заморозка на поверхности почвы осенью	01.10-05.10	02.10-01.10	05.10-01.10	28.09-01.10	28,09-25.09
4. Средняя дата последнего заморозка на поверхности почвы весной	10.05-05.05	01.05-27.04	01.05-27.04	27.04-02.05	02.05-07.05
5. Средняя продолжительность безморозного периода на поверхности почвы, дни	150	150	150-160	150	140-150

Максимальная температура воздуха определяется главным образом синоптическими процессами. Абсолютный максимум температуры воздуха – это самая высокая температура воздуха, зафиксированная за весь период наблюдений. Эта характеристика термического режима постепенно возрастает с запада на восток для Западного и Центрального Полесья и постепенно уменьшается в этом же направлении в Восточном Полесье. В теплый период года на этой территории создаются условия для формирования высокой (25 °C и выше) температуры воздуха. Высокая температура устанавливается при поступлении сухого континентального воздуха умеренных или тропических широт с Нижнего Поволжья и Средней Азии. Высокая температура характеризуется средним числом дней и средней продолжительности (в ч за год) с температурой воздуха 25 °C и выше. Распределение числа дней с

высокой температурой имеет в целом для Полесья широтный характер, то есть наблюдается увеличение этой характеристики с севера на юг. Средняя продолжительность высокой температуры воздуха за год для территории Полесья увеличивается с северо-запада на юго-восток. Характерной особенностью зимнего сезона на данной территории являются частые оттепели. День с оттепелью – это когда на фоне устойчивой отрицательной температуры воздуха наблюдается максимальная температура воздуха выше 0°C . На данной территории преобладают адвективные оттепели, которые наблюдаются во время перемещения юго-западных и южных циклонов. Ход числа дней с оттепелью по территории Полесья в целом направлен на их уменьшение с запада на восток. Такое же распределение характерно и для средней и наибольшей продолжительности оттепелей в днях за год.

Минимальные температуры воздуха обусловлены перемещением холодных арктических воздушных масс, которые имеют незначительную влажность и большую прозрачность и во время движения испытывают дальнейшее радиационное остывание. Абсолютный минимум также обусловлен местными условиями и характером рельефа, но в целом для Полесья характерным является его широтное распределение, то есть он растет с юга на север. В зимний сезон на данной территории создаются условия для формирования низкой температуры воздуха -10°C и ниже.

Низкая температура обусловлена вторжением континентального арктического воздуха, который распространяется в антициклонах с северо-востока и севера или в тылу ныряющих циклонов с северо-запада. Продолжительность периода с низкой температурой воздуха -10°C и ниже для Западного Полесья возрастает с запада на восток, а для территории Центрального и Восточного Полесья увеличивается с юго-запада на северо-восток. Распределение среднего числа дней с низкой температурой воздуха -25°C и ниже для территории Полесья в целом приближается к широтному, то есть эта характеристика термического режима увеличивается с юга на север.

Заморозок – это кратковременное понижение температуры воздуха или поверхности почвы до 0°C и ниже на фоне устойчивой положительной температуры. Заморозки образуются в ночные часы либо раннее время суток при ясной, тихой погоде, когда создаются условия для интенсивного радиационного охлаждения земной поверхности и приземного слоя воздуха. Снижение температуры до 0°C и ниже также возможно в ночное время суток вследствие общего похолодания. Для исследуемой территории характерны радиационные и адвективные заморозки. Первые из них образуются при соответствующей низкой суточной температуре воздуха вследствие интенсивного радиационного охлаждения подстилающей поверхности и прилегающего воздуха и имеют локальный характер, наблюдаемые в ночные и утренние часы. Адвективные заморозки возникают во время вторжения холодных воздушных масс с температурой воздуха 0°C и ниже. Они охватывают большую площадь и могут наблюдаться в любое время суток. На распределение интенсивности заморозков, кроме общих закономерностей и синоптических процессов, значительно влияет характер подстилающей поверхности. В целом средняя дата последнего заморозка весной для Западного и Центрального Полесья уменьшается с северо-запада на юго-восток, а для Восточного Полесья она увеличивается с юго-запада на северо-восток. Средняя продолжительность безморозного периода для Западного и Центрального Полесья имеет широтное распределение, то есть возрастает с севера на юг. Эта же характеристика для Восточного Полесья уменьшается с северо-запада на северо-восток.

Средняя многолетняя дата первого заморозка в воздухе как характеристики термического режима имеет территориальное деление в Западном и Житомирском Полесье приближенно к переходному от меридианального до широтного, то есть в первом случае она увеличивается с северо-запада на юго-восток, а для Житомирского Полесья уменьшается с юго-запада на северо-восток. Для Киевского и Восточного Полесья эта дата возрастает с севера на юг, то есть имеет приближенное широтное распределение.

Практический интерес имеют характеристики термического режима воздуха, которые определяют агроклиматические ресурсы – часть климатических ресурсов, что наиболее существенно влияет на объекты сельскохозяйственного производства. Общие признаки агроклиматических ресурсов включают сроки начала и окончания продолжительности холодного, теплого, вегетационного периодов и периода активной вегетации. Они определяются также интенсивностью накопления тепла в соответствующие периоды.

В холодный период агроклиматические, термические ресурсы оценивают началом и окончанием, продолжительностью всего периода, продолжительностью солнечного сияния, суммой отрицательных температур воздуха. Пространственное поле дат начала холодного периода является сложным и разнообразным. На наибольшей части данной территории начало холодного периода приходится на 30 ноября, на севере Восточного Полесья он наступает примерно 20 ноября. Окончание хо-

лодного периода проходит с 4 до 19 марта. Большая часть территории начинает получать весеннее тепло после 10 марта. Самая продолжительная зима наблюдается на северо-востоке – примерно 120 дней. На большей части Полесья продолжительность зимы составляет 90–118 дней. Сумма отрицательных температур воздуха определяет суровость зимы. Для Западного Полесья эта характеристика за период ноябрь–март в среднем составляет – 350 °С (колебания от – 355 °С до – 281 °С). Для Центрального Полесья она составляет – 430 °С (колебания от – 438 °С до – 418 °С), а в Восточном Полесье – 540 °С (от – 560 °С до – 511 °С). В целом территория определяется мягкой зимой (за исключением Восточного Полесья), потому что сумма отрицательных температур больше – 500 °С [3].

Продолжительность теплого периода изменяется с запада на восток и составляет в среднем и в Западном Полесье 62 дня (от 254 до 270 дней); в Центральном Полесье 253 дня (от 254 до 256 дней); в Восточном Полесье – 247 дней (от 245 до 250 дней). Средняя сумма положительных температур (табл. 3.3) имеет достаточно сложное территориальное распределение. В целом, в Западном Полесье они уменьшаются с запада на восток, в Житомирском и Киевском Полесье они растут с северо-запада на юго-восток, а в Восточном Полесье они меняются по широте, возрастая с севера на юг.

Вегетационный период – это часть года между датами перехода температуры воздуха через 5 °С весной и осенью. Он за сроками и продолжительностью совпадает с активной частью вегетационного цикла многолетних растений. Средняя многолетняя дата начала этого периода приходится: в Западном Полесье на 3 апреля (колебания от 02.04 до 04.04); в Центральном Полесье на 4 апреля (от 04.04 до 06.04); в Восточном Полесье на 4 апреля (от 03.04 до 05.04). Средняя многолетняя дата окончания вегетационного периода изменяется с запада на восток и составляет: в Западном Полесье 31 октября (от 30.10 до 01.11); в Центральном Полесье – 29 октября (от 27.10 до 30.10); в Восточном Полесье – 22 октября (от 20.10 до 26.10). Средняя многолетняя продолжительность этого периода уменьшается в меридианальном направлении с запада на восток и равна: для Западного Полесья 209 дней (от 204 до 213 дней); для Центрального Полесья – 206 дней (от 204 до 209 дней); для Восточного Полесья – 200 дней (от 198 до 202 дней). Территориальное распределение суммы эффективных температур за период вегетации имеет широтный характер, то есть наблюдается ее рост с севера на юг (табл. 3.3). В среднем указанная сумма для территории Западного, Центрального и Восточного Полесья соответственно составляет: 850, 820, 810 °С.

Таблица 3.3

Средняя интенсивность накопления тепла в различные периоды

Показатели	Западное Полесье	Центральное Полесье		Восточное Полесье	
	Волыньское и Малое Полесье	Житомирское Полесье	Киевское Полесье	Черниговское Полесье	Новгород-Северское Полесье
1. Сумма положительной температуры воздуха (°С) за теплый период, с температурой воздуха выше 5 °С (апрель–октябрь)	2990-3100	2900-3100	3000-3200	2900-3100	2900-3000
2. Сумма эффективной температуры воздуха (°С) за период вегетации, с температурой воздуха 5 °С и выше	1800-1900	1800-1900	1800-1900	1800-1900	менше 1800
3. Сумма активной температуры воздуха (°С) за период активной вегетации с температурой воздуха 10 °С и выше	2400-2500	2400-2600	2500-2700	2400-2600	2400-2500

Период активной вегетации – это часть года между датами перехода температуры воздуха через 10 °С весной и осенью. В этот период происходит наиболее интенсивный рост и развитие растений, крупнейшие их водопотребление и транспирация, созревание урожая. Средние многолетние даты устойчивого начала и окончания периода активной вегетации приходятся: в Западном Полесье на 23 апреля и 3 октября; в Центральном Полесье на 25 апреля и 1 октября; в Восточном Полесье – на 24 апреля и 29 сентября. Средняя многолетняя продолжительность этого периода для Западного Полесья составляет 160 дней (от 159 до 160 дней); для Центрального и Восточного Полесья – 158 дней (от 157 до 160 дней).

Сумма активной температуры (табл. 3.3) обеспечивает интенсивность развития растений, возможности достижения и уровень урожайности. Ее распределение имеет сложный характер: для Западного и Центрального Полесья можно наблюдать переход от широтного до меридианального уве-

личения суммы активной температуры; для Восточного Полесья отмечается широтное увеличение этой характеристики с севера на юг.

Важной характеристикой термического режима как составной теплообмена выступает температура почвы. Местные особенности подстилающей поверхности (микрорельеф, экспозиция склонов, глубина залегания грунтовых вод) и деятельность человека в значительной степени влияют на температуру поверхности почвы.

Средняя температура поверхности почвы самого холодного месяца (января) мало отличается от температуры воздуха. Для Западного и Центрального Полесья характерно ее долготное уменьшение с запада на восток. Для Восточного Полесья она в целом уменьшается с юго-запада на северо-восток. Территориальное распределение средней за месяц температуры поверхности почвы за июль в целом характеризуется ее увеличением с юго-запада на северо-восток в Западном и Центральном Полесье и широтным ее уменьшением с юга на север для Восточного Полесья. Начало заморозков характеризуется средней датой наступления осенью. Для Западного Полесья наблюдаются ее рост с северо-запада на юго-восток. Для Центрального и Восточного Полесья она уменьшается с юго-запада на северо-восток. Окончания заморозков на поверхности почвы характеризует средняя дата последнего заморозка весной. Для Западного Полесья эта дата уменьшается с северо-запада на юго-восток. Для Центрального Полесья раньше заморозки заканчиваются на востоке. В Восточном Полесье дата окончания заморозков увеличивается с юго-запада на северо-восток. Продолжительность безморозного периода на поверхности зависит от характера рельефа, растет в низовьях и уменьшается на возвышенностях. Поэтому территориальное распределение этой характеристики является сложным; в Западном Полесье продолжительность уменьшается с северо-запада на юго-восток. В Житомирском Полесье можно говорить о росте продолжительности с юго-запада на северо-восток. Для Киевского Полесья характерны широтный рост продолжительности с севера на юг. Восточное Полесье в целом характеризуется уменьшением продолжительности с юго-запада на северо-восток.

Между атмосферой и земной поверхностью проходит постоянный влагообмен. Это один из процессов образования климата. С водной поверхности, почвы, растительности в атмосферу испаряется вода, это определяет влажность воздуха. В реальных условиях в атмосфере водяной пар конденсируется, в результате чего образуются облака и туманы. При определенных условиях происходит укрупнение облачных элементов и осадки, выпадающие из облаков, частично уравнивают испарения. Для конкретной территории процесс влагообращения может быть оценен характеристиками испарения и увлажнения подстилающей поверхности, влажности воздуха, характеристиками атмосферных осадков и снежного покрова.

Испарение является одной из основных составляющих теплового и водного балансов подстилающей поверхности. Благодаря ему атмосфера обогащается влагой и обменивается теплом с поверхностью земли. Испарения измеряют испарителями различных конструкций в миллиметрах выпаренной воды за единицу времени (час, сутки, месяц и т. д.). Интенсивность испарения зависит от характера испаряемой поверхности, ее температуры и влажности, скорости ветра, атмосферного давления. Для оценки испарения с достаточно больших территорий используют суммарное испарение, что представляет собой совокупность физического испарения (испарение с почвы) и транспирацию (испарение с поверхности растений). В связи с тем, что числа испарителей недостаточно, для определения суммарного испарения используют различные расчетные методы. Для исследуемой территории суммарное испарение определено по методу А. Г. Константинова, который базируется на использовании информации метеорологических наблюдений [4]. В расчетах не приняты во внимание местные особенности, которые зависят от характера рельефа, растительного покрова, распаханности сельскохозяйственных угодий, заболоченности и обводненности. Оценку увлажнения подстилающей поверхности можно провести по запасам влаги в почве в метровом слое. С их участием формируется испарения. Запасы влаги в почве формируют агрогидрологические ресурсы и наряду с агроклиматическими ресурсами обеспечивают рост и развитие растений, формирование урожайности сельскохозяйственных угодий и плодородия почвы. Агрогидрологические ресурсы различают в отношении определенной культуры. Характеристики суммарного испарения и увлажнения подстилающей поверхности приведены в таблице 3.4.

Характерной особенностью распределения суммарного испарения является широтная зональность: с уменьшением широты величина испарения возрастает. Но при этом общая картина нарушается очагом повышенного испарения (300 мм и более за лето), которым охватывает Предкарпатье и юг Западного и Житомирского Полесья. Суммарное испарение за год для Западного и Житомирского Полесья уменьшается с юга на север. При этом и в Западном Полесье оно уменьшается до центра этого района; в Житомирском Полесье оно уменьшается от центра района. Для Киевского и Восточ-

ного Полесья в распределении суммарного испарения за год четко прослеживается общая тенденция уменьшения с запада на юго-восток. Распределение суммарного испарения за лето особенно четко проявляется для очага повышенного испарения. Это приводит к тому, что в Западном Полесье данная характеристика растет с северо-востока на юго-запад. Для Киевского и Восточного Полесья суммарное испарение за лето уменьшается с запада на юго-восток.

Таблица 3.4

Средние многолетние характеристики суммарного испарения и запасов влаги в почве

Показатели	Западное Полесье	Центральное Полесье		Восточное Полесье	
	Волыньское и Малое Полесье	Житомирское Полесье	Киевское Полесье	Черниговское Полесье	Новгород-Северское Полесье
1. Средний запас влаги (мм) в метровом слое почвы под озимой пшеницей по непаровыми предшественниками перед прекращением вегетации (1 декада, ноябрь)	140-170	200-160	160-120	120-140	120-140
2. Средний запас влаги (мм) в метровом слое почвы под озимой пшеницей по непаровыми предшественниками перед началом вегетации (1 декада апреля)	160-210	240-210	220-170	170-190	190-220
3. Суммарное испарение (мм) за год	510-535	525-575	525-500	525-500	525-500
4. Суммарное испарение (мм) за лето	280-310	320-280	290-270	300-270	300-280

Наибольшее количество влаги в почве наблюдается весной в начале вегетации. Пространственное распределение средних запасов влаги в 1-ю декаду апреля говорит о том, что здесь также проявляется действие очага повышенного испарения. Продуктивная влага в метровом слое на данный момент имеет такую территориальную тенденцию: Западное Полесье – рост от центра района на Киевское Полесье – уменьшение с северо-запада на юго-восток; Восточное Полесье – уменьшение с севера на юг. Пространственное распределение запасов продуктивной влаги перед прекращением вегетации (1-я декада ноября) фактически подобно распределению в начале вегетации (1-я декада апреля).

Влагообмен как процесс образования климата определяется содержанием водяного пара в атмосфере и его конденсацией. Наличие водяного пара в атмосфере существенно сказывается на тепловых ресурсах атмосферы. Водяной пар поглощает длинноволновое излучение земной поверхности и в то же время определяет встречное излучение атмосферы. Водяной пар – важнейший из парниковых газов атмосферы. Характеристики влажности воздуха: парциальное давление водяного пара (упругость водяного пара), относительная влажность воздуха, дефицит насыщения (дефицит влажности). Эти характеристики определяют психрометрическим методом излучения, а при температурах воздуха ниже -10°C – по гигрометрическим методам.

Упругость водяного пара – это давление водяного пара, содержащегося в воздухе. Изменение этой характеристики зависит от температуры воздуха (чем выше температура, тем больше упругость). Среднее значение парциального давления за год составляет для территории Полесья около 9 гПа. Наименьшие значения упругости водяного пара отмечаются в самый холодный месяц зимы январь (табл. 3.5) и характеризуются долготным распределением: в Западном и Центральном Полесье наблюдается их рост с запада на восток; в Восточном Полесье – уменьшение с юго-запада на северо-восток. Летом парциальное давление водяного пара резко увеличивается, особенно в июле. На Полесье оно растет с севера на юг.

Относительная влажность воздуха характеризует степень насыщения воздуха водяным паром. Влажность воздуха существенно влияет на подстилающую поверхность и в приземном слое имеет ход, противоположный ходу температуры воздуха. Относительная влажность воздуха отражает изменчивость содержания влаги в воздухе во времени и пространстве. Число дней с высокой (80 % и более) и низкой (30 %) относительной влажностью воздуха является косвенным показателем засушливости климата. Дни, когда относительная влажность воздуха достигает 80 % и более, относят к влажным, а когда 30 % и менее – к сухим. Число сухих дней является одним из важных показателей засушливости и суховеитности погоды. На распределение числа влажных и сухих дней на территории влияет температурный режим и поступление влаги в атмосферу. В среднем число влажных дней (табл. 3.5) для Западного и Житомирского Полесья меняется с запада на восток, а в Киевском и Вос-

точном Полесье растет с юго-запада на северо-восток. Число сухих дней на Полесье растет в широтном направлении, с севера на юг. Дефицит влажности воздуха – это разность между давлением насыщенного водяного пара и парциальным давлением водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре воздуха. Он влияет на интенсивность испарения и является критерием засушливости условий погоды. Наименьшие значения дефицита влажности наблюдаются в холодный период года, наибольшие – в теплый. Для территории Полесья средний месячный дефицит насыщения водяного пара составляет в январе 0,4–0,7 гПа, а в июле – 6–8 гПа.

Таблица 3.5

Характеристики влажности воздуха и облачности

Показатели	Западное Полесье	Центральное Полесье		Восточное Полесье	
	Волынское и Малое Полесье	Житомирское Полесье	Киевское Полесье	Черниговское Полесье	Новгород-Северское Полесье
1. Среднее парциальное давление (гПа), январь	4,2-3,9	3,9-3,7	3,9-3,7	3,7-3,5	3,5 и менее
2. Среднее парциальное давление (гПа), июль	14-16	14-16	14-16	14-16	14-16
3. Относительная влажность воздуха (%). Число дней за год с относительной влажностью 80% и более	110-130	110-120	110-120	110-120	115-125
4. Относительная влажность воздуха (%). Число дней за год с относительной влажностью 30% и меньше	10-15	10-15	10-20	10-15	10 и менее
5. Повторяемость пасмурного неба (8–10 баллов), % к общей облачности за январь	73-75	75-76	свыше 76	свыше 76	свыше 76
6. Повторяемость пасмурного неба (8–10 баллов), % к общей облачности за июль	47-44	44-42	44-42	44-42	42-40
7. Среднее число ясных дней за год	25-45	25-35	25-35	25-35	25-35
8. Среднее число пасмурных дней по нижней облачности за год	80-90	свыше 90	80-90	80-90	свыше 90
9. Среднее число пасмурных дней по общей облачности за год	145-150	145-150	145-150	145-155	150-155

Облака играют роль фактора климатообразования. Они определяют процесс влагообмена и влияют на теплообращение в атмосфере. Режим облачности формируется под влиянием синоптических процессов, которые определяют содержание влаги в воздушных массах и направление их перемещения. В теплый период года также важную роль играет подстилающая поверхность, когда растет ее термическая неоднородность. В результате восходящие и нисходящие течения воздуха могут способствовать развитию облаков или их распаду. Степень покрытия небесного склона облаками можно оценить повторяемостью пасмурного неба. Наибольшая повторяемость пасмурного неба наблюдается зимой. Пространственное распределение облачности в этот сезон обусловлено перемещением циклонов и для Полесья характеризуется ростом облачности с юго-запада на северо-восток. В летний сезон повторяемость пасмурного неба уменьшается и для Полесья характеризуется уменьшением с северо-запада на юго-восток. Устойчивость ясной и пасмурной погоды характеризуют числом ясных дней по общей облачности и числу пасмурных дней по общей и нижней облачности (табл. 3.5). Территориальное распределение ясных дней на территории Полесья, как и распределение числа пасмурных дней по нижней облачности, характеризуется пестротой. Территориальное распределение числа пасмурных дней по общей облачности характеризуется уменьшением их с севера на юг.

Выпадение осадков тесно связано с влагооборотом. Коэффициент обращения влаги представляет собой отношение общего количества осадков, выпавших на данной территории, к количеству осадков, которые образовались из водяного пара, поступающего извне. Для данной территории, как и для Украины в целом, он составляет 1,0–1,1, то есть осадки здесь в основном адвентивные [5]. Образование и выпадение осадков – следствие процессов переноса тепла и влаги с Атлантики и Средиземного моря. Основное количество осадков выпадает из фронтальных облаков. Зимой осадки связаны с средиземноморскими циклонами, которые перемещаются на север и северо-восток. Летом часть осадков связана с циклонами. Важное значение имеют осадки тропического воздуха, они перемещаются с юго-востока и увлажняются, встречаясь с полярным воздухом, что дает ливневые осадки. Оп-

ределенную роль летом играет местный циклоногенез, что сопровождается выпадением осадков из континентального воздуха. Главные характеристики осадков и снежного покрова на территории Полесья приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Характеристики атмосферных осадков и снежного покрова

Показатели	Западное Полесье	Центральное Полесье		Восточное Полесье	
	Волыньское и Малое Полесье	Житомирское Полесье	Киевское Полесье	Черниговское Полесье	Новгород-Северское Полесье
1. Среднее многолетнее количество осадков (мм) в год	600-650	675-625	625-600	625-550	700-650
2. Среднее многолетнее количество осадков (мм) за теплый период (апрель-октябрь)	425-450	475-425	430-400	425-400	425-400
3. Среднее многолетнее количество осадков (мм) за холодный период (ноябрь-март)	175-200	225-200	225-200	255-200	250-200
4. Среднее число дней с количеством осадков 0,1 мм и более за год	160-155	170-155	165-150	170-150	170-155
5. Среднее число дней с количеством осадков 10 мм и более за год	14-16	16-15	15-16	15-16	15-18
6. Суточный максимум осадков (мм) в год	<150	<150	<150	<150	<150
7. Суммарная продолжительность (ч) осадков в год	1250-1050	1050-1000	1050-1100	1050-1000	1050-1000
8. Районы с разным количеством осадков за год (мм)	достаточно увлажненные	достаточно увлажненные	переход в район неустойчивого увлажнения	неустойчивое увлажнение	неустойчивое увлажнение
9. Количество осадков (мм) за период активной вегетации (с температурой воздуха 10 ⁰ С и выше)	350-380	370-320	350-320	330-310	340-300
10. Средняя многолетняя дата образования устойчивого снежного покрова	30.12-25.12	25.12-22.12	22.12-20.12	20.12-15.12	15.12-10.12
11. Средняя многолетняя дата разрушения устойчивого снежного покрова	10.03-07.03	15.03-07.03	15.03-10.03	20.03-12.03	25.03-20.03
13. Среднее количество дней со снежным покровом	65-85	80-90	90-95	95-105	105-115
14. Средняя из наибольших высот (см)	15-25	25-30	25-35	25-35	35-40

Осадки в разных районах Полесья отличаются по количеству, частотой выпадения, продолжительностью. Основной закономерностью пространственного распределения количества осадков является их уменьшение с севера и северо-запада в направлении на юг и юго-восток. При этом рельеф определяет значительные изменения в поле осадков. Влияние Подольской возвышенности приводит к образованию района переувлажнения, где количество осадков за год превышает 650–700 мм.

В результате пространственное распределение среднего количества осадков за год характеризуется сложным их ростом с северо-запада на юго-восток в Западном Полесье. В Центральном Полесье и Восточном Полесье их значение уменьшается с северо-запада на северо-восток. Аналогичная картина наблюдается для средней многолетней количества осадков за теплый и холодный период года и за период активной вегетации. Районирование территории по количеству осадков на основании кластерного анализа [1] позволило выделить районы с однотипным распределением и структурой метеорологической величины, обусловленных особенностями синоптических процессов и подстилающей поверхности. Западное и Житомирское Полесье – это районы с достаточным увлажнением,

здесь часто бывают аномально влажные годы. Киевское Полесье – это переходная территория между районами с достаточным увлажнением и неустойчивым увлажнением. Восточное Полесье относится к району с неустойчивым увлажнением, здесь возрастает вероятность появления засушливых лет. Территория Полесья относится к ливне опасным районам.

На большей части территории максимальное суточное количество осадков не превышает 150 мм. При анализе распределения этой характеристики на данной территории не обнаружено какой-либо закономерности. Количество осадков за период вегетации составляет: Западное Полесье – 420 мм; Центральное Полесье – 425 мм; Восточное Полесье – 380 мм. Количество осадков за период активной вегетации в среднем за многолетний период составляет: Западное Полесье – 370 мм; Центральное Полесье – 360 мм; Восточное Полесье – 320 мм. Частота выпадения осадков характеризуется числом дней с осадками различных градаций (0,1; 10,0 мм и более). В целом частота выпадения осадков пропорциональна распределению количества осадков.

Число дней с осадками 0,1 мм и более постепенно снижается с севера и северо-запада, при этом наибольшие значения наблюдаются в Новгород-Северском и Центральном Полесье. Подобное распределение характерно и для числа дней с осадками 10 мм и более. Важной характеристикой осадков является их продолжительность. Наиболее длительные осадки наблюдаются в Западном Полесье и восточной части Киевского Полесья. При этом в Западном Полесье суммарная продолжительность осадков возрастает с северо-востока на юго-восток. Для Восточного и Центрального Полесья суммарная продолжительность осадков уменьшается с севера на юг.

Снежный покров существенно влияет на формирование климата в зимний сезон, на теплообмен и скорость ветра и является элементом влагообмена. В Полесье устойчивый снежный покров прежде всего образуется в Восточном Полесье (первая и вторая декада декабря), а позднее всего в Западном Полесье – третья декада декабря. Весной с повышением температуры воздуха начинается разрушение устойчивого снежного покрова, сначала в Западном Полесье, а позже – в Восточном Полесье. Соответственно: в первой декаде марта и второй и третьей декаде марта. Среднее число со снежным покровом растет на север и юго-восток. Высота снежного покрова в основном зависит от количества осадков и температуры в период снегонакопления, также на нее влияет перенос снега ветром и испарения. Для практического применения важное значение имеет средняя из максимальных высот снежного покрова. В Западном и Центральном Полесье она растет с северо-запада на юго-восток, а в Восточном Полесье – с юго-запада на северо-восток.

Атмосферное давление выступает одной из основных характеристик тонкого процесса климатообразования, которым является атмосферная циркуляция. С давлением связаны динамические процессы, в частности горизонтальное движение воздуха. Для атмосферного давления характерны пространственные и временные изменения, зависящие от теплообмена, влагооборота и общей циркуляции атмосферы. Для сравнения результатов давления на метеорологических станциях на высоте до 800 м включительно приводят к стандартному уровню моря. Территориальное распределение атмосферного давления за год на уровне моря показывает, что Полесье находится в полосе относительно пониженного атмосферного давления (1015–1016 гПа), и это обусловлено барическими впадинами перемещаемых воздушных масс на этой территории из Западной Европы в восточном направлении. Годовой ход атмосферного давления на уровне моря определяется сезонными изменениями циркуляции атмосферы. В холодный период года преобладает зональный характер циркуляции, который обусловлен увеличением температурных и барических градиентов между северными и южными широтами и определяет широтную конфигурацию изобар. Над территорией Полесья в январе находится область с несколько пониженным давлением (менее 1020 гПа), при этом давление возрастает с 1018–1019 гПа в Западном Полесье в 1019–1020 гПа в Центральном и Восточном Полесье. Летом преобладает меридиональный характер циркуляции, который обусловлен ростом поступления солнечной радиации, уменьшением термических и барических градиентов между сушей и водной поверхностью, ослаблением процессов образования циклонов и антициклонов. В июле наибольшие значения давления на уровне моря наблюдаются в Западной и Житомирском Полесье (1014–1015 гПа), а в Киевском и Восточном Полесье наблюдаются более низкие значения (1013–1012 гПа). Зимний (январский) характер распределения давления на уровне моря сохраняется с ноября по апрель. В мае окончательно завершается процесс перестройки барического поля на летний тип. С июня по сентябрь барическое поле по распределению близко к летнему (июльскому) типу. В октябре проходит процесс перестройки барического поля на зимний тип. Атмосферное давление на высоте метеорологической станции отражает барические условия окружающей среды с учетом специфики места расположения пункта наблюдения. В январе над Полесьем наблюдаются сравнительно повышенные значения атмосферного давления на высоте станции. Аналогичный характер распределения давления на фоне пониженных

средних месячных значений, обусловленных термическими и циркуляционными факторами, характерными для летнего сезона, отмечается в июле. Давление воздуха за год на уровне станции наименьшее в Западном Полесье (994 гПа) и постепенно увеличивается на восток. В январе над Полесьем наблюдают область относительно пониженного давления (999 гПа). Весной давление уменьшается по всей территории, что обусловлено увеличением поступления солнечной радиации и интенсивным прогревом земной поверхности, и над Полесьем выделяется область относительно низкого давления (998 гПа). Летом пространственное распределение давления не изменяется при низких его значениях (980 гПа).

Ветер – одна из основных характеристик атмосферной циркуляции как процесса образования климата. Перемещение воздушных масс обусловлено циркуляцией атмосферы и определяется стационарными барическими центрами, характером подстилающей поверхности и формой рельефа. Значительную роль в распределении поля ветра играют высота и защищенность местности и шероховатость подстилающей поверхности. Сезонные смещения и интенсивность отдельных центров действия атмосферы определяют годовой ход характеристик ветра. В распределении преобладающего направления ветра за год территория Полесья находится севернее большой оси Воейкова (Кишинев – Луганск). В этой зоне преобладают ветры с западной составляющей. Зимой (январь) тенденция распределения ветра в целом сохраняется: Полесье относится к району, где отмечаются ветры западных румбов. Весной наблюдается перестройка барического поля, в результате чего над территорией Восточного и Центрального Полесья наблюдается преимущественно восточный и юго-восточный ветер, а над Западным Полесьем преобладают западные и северо-западные ветры. Летний тип распределения ветра устанавливается в июне. В результате уменьшения барических градиентов изобары приближаются к меридианальному направлению. Давление снижается с юго-запада на северо-восток, и поэтому в основном наблюдается (июль) северо-западный и западный ветер, связанный с тыловыми частями западных циклонов. Осенью синоптические процессы постепенно перестраиваются. В Полесье сохраняется влияние Азорского антициклона, и поэтому наблюдаются ветры западных румбов. Скорость ветра определяется барическим градиентом условий циркуляции атмосферы. Наибольшие скорости ветра наблюдаются с октября по апрель. Наибольшие средние месячные скорости ветра наблюдаются в феврале и январе. Наименьшие скорости ветра отмечаются летом, когда большая часть территории находится под влиянием Азорского антициклона, а циклоническая деятельность ослаблена.

В июле-августе скорости ветра уменьшаются до минимальных значений. Средние скорости ветра в январе для территории Полесья находятся в пределах 3–4 м/с (за исключением районов у Ровно, Житомира и Чернигова, где они превышают 4 м/с, у Киева и южной части Новгород-Северского Полесья они меньше 3 м/с). Средние скорости ветра в июле наблюдаются в пределах 2–3 м/с (за исключением указанных выше территорий, где они соответственно больше 3 м/с и меньше 2 м/с). Слабый ветер (0–1 м/с) и умеренный ветер (2–5 м/с) имеет наибольшую повторяемость (60–90 %). Скорость ветра 6–10 м/с чаще всего наблюдается в холодный период года или в переходные сезоны. Скорость ветра более 10 м/с бывает редко, в зимние месяцы с повторяемостью 3–8 %, летом – 1–2 %. В среднем за год скорость ветра более 10 м/с отмечается от 90 до 150 дней. Наибольшее число дней с ветром 10 м/с наблюдается в апреле – от 10 до 15 дней. Пространственное распределение максимальной скорости ветра за год имеет пятнистый характер. Районы со значительной скоростью ветра (свыше 40 м/с) характерны для северной части Восточного Полесья. Районы со скоростью 30–35 м/с и более характерны для южной части Западного Полесья и юго-западной части Житомирского Полесья.

Таким образом, суммируя изложенное, можно сделать ряд выводов.

Оценка процесса теплообмена проведена по характеристикам радиационного режима и термического режима воздуха и почвы. Распределение характеристик радиационного режима по территории Украинского Полесья в целом трансформируется с запада на восток. Меридианальное распределение преимущественно наблюдается в Западном Полесье. Переход от меридианального распределения в широтное преимущественно отмечается в Центральном Полесье. Широтное территориальное деление преимущественно характерно для Восточного Полесья. Средние температуры воздуха в разные промежутки времен, как характеристики термического режима имеют преимущественно меридианальное распределение в Западном Полесье, при этом широтный или переходный от меридианального к широтному распределению отмечается в целом в Центральном и Восточном Полесье.

Распределение характеристик максимальных и минимальных температур воздуха, а также агроклиматических термических ресурсов может быть широтным, меридианальным или переходным, но при этом оно преимущественно охватывает все части Украинского Полесья. Распределение характеристик температуры почвы по территории является сложным, но преимущественно переходным от меридианального к широтному.

Распределение элементов влагообмена по территории Украинского Полесья достаточно сложное. Абсолютные характеристики влажности за теплый период года имеют преимущественно широтное распределение, а за холодный период – меридианальное. Распределение относительных характеристик влажности воздуха трансформируется по территории: в целом в Западном Полесье наблюдается меридианальное распределение; в Центральном и Восточном Полесье – переходное от меридианального к широтному. Характеристику облачности, количества, числа, продолжительности атмосферных осадков и снежного покрова имеет в основном переходное распределение по территории Украинского Полесья.

Территориальное распределение атмосферного давления за год показывает, что Полесье находится в полосе относительно уменьшенного давления. Годовой ход атмосферного давления определяется летним (меридианальным) и зимним (зональным) типом циркуляции. В распределении направления ветра за год и за отдельные сезоны года на территории Полесья преобладают ветры с западной составляющей. Наибольшие средние скорости ветра отмечают в холодный период года, а наименьшие – в теплый. Наибольшую повторяемость имеют слабые и умеренные ветры.

3.2. Региональные изменения климата Украинского Полесья

Полная характеристика изменений климата может быть проведена только по всем элементам климатообразующих процессов теплообмена, влагооборота и циркуляции атмосферы. Изменения климата, в том числе региональные, сегодня принято характеризовать главным образом при помощи усредненной годовой приземной температуры воздуха. Изменения других элементов процессов образования климата оцениваются недостаточно полно.

Наблюдения за температурой воздуха показывают, что ее динамика в значительной степени отражает вековой ход глобальной температуры [6, 7]. Изменения усредненной годовой температуры за 100-летний период (1900–2000 гг.) составили на Полесье 0,7–0,9 °С в сторону потепления. В зимний период потепление составляет, как и весной, 0,8 °С; летом и осенью изменения температуры незначительны [8]. Для отдельных природных зон Украины исследования изменений климата были проведены по данным из температуры воздуха за период 1946–2000 гг. За этот период рост средней температуры воздуха за год составлял для Полесья в целом 0,4 °С, при этом в Западном Полесье – 0,3, а в Центральном Полесье – 0,5 °С. Изменения средних температур воздуха за сезоны года в Полесье неоднозначны. Зимой и весной отмечают их рост, а летом и осенью – уменьшение соответственно: +1,5 °С; +1,3 °С и –0,7 °С; –0,3 °С. Такая тенденция наблюдается в Западном и Центральном Полесье соответственно: +1,2 °С; +1,2 °С; –0,6 °С; –1,1 °С и +1,8 °С; +1,3 °С; –0,7 °С; –0,1 °С. Изменения средних за месяц температур воздуха приведены в таблице 3.7

Таблица 3.7

Изменения температуры воздуха за месяц, 1946–1996 гг.

Природная зона	Зима			Весна			Лето			Осень		
	01	02	12	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Полесье	2,0	2,0	0,3	3,0	0,2	0,4	-1,5	-0,7	-0,2	-0,5	-0,4	-0,8
Западное	1,7	2,0	0,1	2,8	0,0	0,5	-1,2	-1,1	0,1	-0,6	-0,5	-1,2
Центральное	2,0	2,2	0,7	3,0	0,2	0,4	-1,0	-0,6	-0,2	-0,5	0,4	-0,5

В указанном периоде наблюдений отмечено интенсивное потепление за зимние месяцы и март. В другие весенние месяцы имеет место незначительная тенденция к повышению температуры. Таким образом, значительное потепление весеннего сезона в XX веке обусловлено благодаря марту. Фактически он более чем наполовину относится к холодному периоду года и не определяет потепление фактической весны. Также можно отметить, что интенсивность потепления в Полесье растет с запада на восток. Летом за указанный период наблюдений происходит изменение температуры воздуха в сторону похолодания. При этом его интенсивность уменьшается с июня по август, а также с запада на восток. Осенью изменения температуры воздуха неоднозначны. В сентябре сохраняются отрицательные значения тренда. Октябрь характеризуется незначительным потеплением. Больше похолодание наблюдается в ноябре. В осенние месяцы характерна тенденция к уменьшению интенсивности потепления и похолодания с запада на восток.

Итак, в XX в. на территории Полесья наблюдается интенсивное потепление в Украине, при этом наибольший рост температуры отмечается в холодный период года, то есть в январе, феврале и марте.

За период с 1990 по 2005 год по температурному режиму приземного слоя воздуха на территории Украины и соответственно Полесья произошли значительные изменения [9]. Были превышены значения высокой и низкой среднемесячной температуры воздуха за 100-летний период. Сравнение стандартной климатической нормы (1961–1990 гг.) с климатической нормой 45-летнего периода (1961–2005 гг.) показывает повышение температуры воздуха за год в целом и в большинстве месяцев года (январь, август, октябрь). В сентябре, ноябре и декабре температура стала несколько ниже. Наибольшее повышение температуры в январе наблюдается на крайнем северо-востоке Полесья + 3,0 °С, а на остальной территории + 2,0 °С. В феврале также наблюдается повышение температуры воздуха соответственно: + 1,5 °С и 1,0 °С. Весенние месяцы в Полесье тоже стали теплее: март + 1,0 °С, апрель + 0,5–0,8 °С, май + 0,5 °С. В июне средняя температура воздуха фактическое не изменилась. В июле и августе наблюдался ее рост, соответственно: + 1,0 ÷ 1,5 °С и + 1,0 °С. Осенью, в сентябре, наблюдается снижение температуры воздуха на 1 °С. В октябре, наоборот, отмечен ее рост на 0,5 °С. В ноябре и декабре температура воздуха снизилась на 0,5 ÷ 0,9 °С в ноябре и на 1 °С в декабре.

Изменения температурного режима за 1951–2008 гг. для территории Полесья были оценены В. В. Гребенем при обосновании и реализации территориальной и функциональной структуры ландшафтно-гидрологической организации территории Украины [10]. Территория Полесья по разработанной схеме ландшафтно-гидрологического районирования территории Украины охватывает Припятский, Деснянский и Бугско-Днестровской ландшафтно-гидрологические провинции (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Схема ландшафтно-гидрологической организации территории Украины

Для рассматриваемых единиц районирования было обнаружено, что усредненные (по 5 рекам) графики отклонений от климатической нормы средней годовой температуры воздуха показали: начало периода современного потепления проявляется с 80-х годов XX века. При применении разностных интегральных кривых отклонений от нормы были установлены четкие границы периодов роста и уменьшения средних за год температур воздуха [10, 11, 12]. Анализ кривых для указанных ландшафтно-гидрологических провинций показал, что началом периода современного потепления можно считать 1989 год. Для подтверждения выделенных временных границ был проведен анализ нарушения генетической однородности рядов температур воздуха [13]. Нарушение однородности условий формирования температур приводит к нарушению однородности рядов. Проверка нарушения однородности месячных и годовых значений температуры воздуха для метеостанций указанных территорий за два выбранных временные периоды (1951–1988 гг. и 1989–2008 гг.) проведена по критериям

Фишера (F) и Стьюдента (t). Критическое количество случаев нарушений однородности (50 % и более) рядов температуры воздуха по критерию Фишера отмечается только в ноябре. Проверка нарушения однородности рядов по критерию Стьюдента (относительно средних значений) показывает, что значительное нарушение однородности годовых значений температуры воздуха отмечается для этой территории (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Количество случаев нарушения (%) однородности рядов температуры воздуха по критериям Фишера (F) и Стьюдента (t)

Месяцы	Припятская ЛПХ		Деснянская ЛПХ		Бузько-Днестровская ЛПХ	
	F	t	F	t	F	t
01	0	66	75	100	0	66
02	0	0	0	0	0	0
03	0	100	0	100	0	100
04	0	100	25	100	11	100
05	0	100	25	0	0	100
06	0	0	25	0	11	22
07	0	100	25	25	11	11
08	0	100	25	25	11	11
09	0	0	25	0	1	0
10	0	0	100	0	11	0
11	100	0	100	0	55	0
12	0	0	0	0	22	0
Год	0	100	25	100	0	100

Наибольшее количество случаев нарушения однородности месячных значений температуры воздуха приходится на январь, март и апрель [10]. Однородность рядов температуры воздуха в летний сезон нарушается только в бассейне р. Припять и только в июле и августе. Однородность средних месячных значений температуры воздуха сохраняется для осенних месяцев для всей территории Полесья. Оценка изменений средних за год температур воздуха в пределах территории Полесья за период 1989–2008 гг. по отношению к периоду 1951–1988 гг. (период относительной стабилизации регионального климата) свидетельствует о том, что указанная температура выросла от 0,9 до 1,0 °С (табл. 3.9). Для характеристики изменений температуры воздуха южной части Центрального Полесья также приведены данные об изменении температуры воздуха для Днестровско-Днепровской ландшафтно-гидрологической провинции.

Таблица 3.9

Разница средних за месяц и год температур воздуха (°С) современного (1989–2008 гг.) и предыдущего (1951–1988 гг.) периодов наблюдений для территории Украинского Полесья [10]

Месяцы	Ландшафтно-гидрологические провинции			
	Припятская	Деснянская	Бузько-Днестровская	Днестровско-Днепровская
01	2,6	3,8	2,3	2,6
02	2,4	3,0	2,3	2,6
03	2,2	2,6	1,9	2,1
04	1,2	1,1	1,0	1,0
05	0,5	0,0	0,7	0,3
06	0,2	0,1	0,2	0,1
07	1,0	0,8	0,9	1,1
08	0,8	0,7	0,9	0,8
09	0,1	0,1	-0,1	0,0
10	0,4	0,5	0,4	0,4
11	-0,1	0,0	0,0	0,1
12	-0,4	0,1	-0,4	-0,1
Год	0,9	1,0	0,9	0,9

Средняя температура воздуха за год возрастает с запада на восток и северо-восток. Наибольший рост температуры воздуха наблюдается в зимний сезон. Так, рост в Бузько-Днестровской провинции составляет 1,4 °С, в Припятской – 1,6 °С, Днестровско-Днепровской – 1,7 °С, Деснянской –

2,3 °С. Это свидетельствует о территориальном увеличении зимних температур воздуха в Полесье с юга на север и северо-восток. Наибольший вклад в рост зимней температуры дает январь. Пространственное распределение прироста средней температуры января на протяжении 1989–2008 гг. аналогично распределению повышения температуры зимой в целом. Изменение средней температуры воздуха в декабре в Западном и Центральном Полесье имеет обратную тенденцию, но при этом наблюдается ее рост в Восточном Полесье. Территориальное распределение прироста средней температуры воздуха за календарную весну имеет другое направление.

Наибольший рост средней температуры воздуха на протяжении 1989–2008 гг. наблюдается на западе и северо-западе, при этом величина роста уменьшается в юго-восточном направлении. В целом по Полесью прирост средней температуры весной дает март. Пространственное распределение прироста средней температуры воздуха за март аналогично распределению повышения температуры воздуха зимой. Следует отметить, что с марта по май величина прироста существенно тормозится. В целом годовой прирост температуры воздуха почти на $\frac{3}{4}$ определяется приростами за январь–апрель. Повышение средней температуры за лето по сравнению с зимой и весной не является существенным. Территориальное распределение прироста температур воздуха летом характеризуется его уменьшением с запада на восток. Так, в Западном и Центральном Полесье рост составляет 0,7 °С, а в Восточном Полесье – только 0,5 °С. Максимальную часть летнего прироста обеспечивает среднемесячная температура воздуха за июль, а минимальную – за июнь. Пространственное распределение прироста средней температуры воздуха за июль характеризуется в северной части Полесья уменьшением с запада на восток, а в южной – ростом с запада на восток. Наименьший прирост температуры воздуха наблюдается осенью.

По территории этот прирост увеличивается с запада на восток от 0,1 °С до 0,2 °С. Наибольший рост температуры наблюдается в октябре в Западном и Центральном Полесье + 0,4 °С, а в Восточном Полесье + 0,5 °С. Средняя месячная температура за сентябрь и ноябрь фактически не изменилась.

Вековой ход других характеристик теплообмена за период с конца XIX в. к концу XX в. проанализирован для территории Украины (включая Полесье) в монографии «Климат Украины». По десятилетним скользящим кривым числа дней с высокой температурой воздуха 25 °С и выше обнаружен общий отрицательный тренд. В конце XIX в. число дней с высокой температурой мало отклонялось от среднего значения как в сторону уменьшения, так и увеличения. Резкое уменьшение числа дней отмечено в 20-х и 30-х годах XX в. В 50-х и 40-х годах увеличилась повторяемость высокой температуры. Эта тенденция продолжалась до 70-х годов XX в. В дальнейшем происходило уменьшение числа дней с температурой воздуха 25 °С и выше. С конца 90-х годов XX в. наметилась тенденция увеличения числа дней до их средних значений. Вековой ход числа дней с оттепелью характеризуется чередованием периодов со значительным и малым количеством оттепелей по десятилетним скользящим кривым этого показателя. Периоды, когда число дней с оттепелями было большим, выделяются с 1897 до 1908 год и с 1930 по 1953 год. Периоды, когда наблюдалось минимальное число дней с оттепелью, приходятся на 1926–1935 гг. и 1963–1972 гг. Число дней с оттепелью выше нормы прослеживается начиная с 1987 г. Фактически в 20-х годах XX в. можно выделить тенденцию роста числа дней с оттепелью.

Вековой ход низкой температуры воздуха по десятилетним скользящим кривым показывает чередование периодов увеличения или уменьшения числа дней с температурой воздуха –10 °С и ниже. Конец XIX в. характеризовался холодными зимними условиями, что приводило к увеличению числа дней с низкой температурой. В начале XX в. произошло уменьшение числа дней с низкой температурой, которое длилось несколько лет. С 20-х до начала 50-х годов вновь наблюдалось снижение температуры. В этот период отмечены самые низкие температуры и наибольшее число дней с низкими температурами.

В последующие годы происходило чередование циклов отклонения числа дней от средних значений, но с общей тенденцией к их уменьшению с 90-х годов XX в. прослеживается тенденция к уменьшению числа дней с низкой температурой. По результатам сопоставления данных 1891–1965 гг. и 1961–1990 гг. выявлены изменения агроклиматических ресурсов на исследуемой территории. В Полесье продолжительность теплого периода увеличилась на 4–10 дней. Зимний сезон стал короче, менее освещенным и теплее. Вегетационный период начинался на 4–5 дней раньше и заканчивался на 2–3 дня позже. Продолжительность периода вегетации выросла на 8–9 дней. Период активной вегетации в конце XX в. начинался на 1–3 дня раньше и заканчивался на 1–3 дня позже по сравнению с первой половиной XX в. Это привело к увеличению продолжительности периода активной вегетации на 4–7 дней.

Изменения характеристик атмосферных осадков показывают изменения в влагообмене как одним из процессов образования климата. Оценка изменения количества осадков в 1900–2000 гг. на территории Украины показала, что их годовая сумма менялась неравномерно. Выявлено, что в отдельных регионах наблюдался рост их количества на 7–10 % (более 40 мм) от климатической нормы, на остальной территории – в пределах нормы либо несколько уменьшилась. На Северо-Западе Украины годовое количество осадков уменьшилось на 5–10 % [14, 15]. По результатам оценки годового количества осадков (% нормы) за отдельные 11-летние периоды обнаружено, что с конца 70-х годов на территории Полесья (и Украины в целом) наблюдается уменьшение амплитуды количества осадков из года в год [9]. Это означает стабилизацию режима увлажнения в пределах климатической нормы. Оценка изменения сезонного количества осадков в период 1900–2000 гг. показала, что зимой и летом по сравнению с началом века количество осадков на большей части Полесья фактически не изменилось, за исключением запада, где оно уменьшилось на 10–20 мм. В весенний сезон наблюдается тенденция к незначительному увеличению количества осадков (до 20 мм), или они остаются неизменными. Осенью по сравнению с началом века количество осадков практически не изменилось или несколько уменьшилось.

Исследование периодических колебаний изменений количества осадков за год [16] показывают наличие нескольких основных периодов. При этом их продолжительность в большинстве случаев составляет: 9–11, 11–14, 18–19, 21–22, 27–28 лет и совпадает на метеорологических станциях, находящихся на значительном расстоянии друг от друга. Выявлено, что особенно значительные колебания количества осадков происходили до 70-х годов. Оценка изменения количества осадков за период 1946–1995 гг. показывает, что наибольшее количество осадков наблюдалось на территории Полесья в пятилетие с 1966–1970 гг. и 1976–1980 гг. Начиная с 1981 г. количество осадков в среднем за отдельные пятилетия уменьшалась до конца XX в. В период глобального потепления (начиная с середины 70-х годов XX в.) на территории Полесья, как и почти на всей Украине, наблюдается уменьшение амплитуды колебания осадков из года в год. Режим увлажнения стабилизировался и находился в пределах климатологической нормы. Уменьшение амплитуды колебания осадков отмечается во все времена года, но больше зимой и летом. При этом в пределах месяца изменчивость осадков осталась значительной, и не уменьшилась существующая вероятность выпадения сильных дождей за отдельные сутки. Наблюдается увеличение частоты значительных осадков – 20 мм/сутки и более. Частота осадков 30–50 мм и более в сутки осталась на том же уровне. Не изменилось число дней с осадками 30,50 мм и больше полсуток.

Изменения количества осадков за год и за месяц за период 1951–2008 гг. оценивались по результатам проверки нарушения однородности исследуемых рядов осадков за два выбранных интервала времени, 1951–1988 гг. и 1989–2008 гг. [10]. Данные наблюдения за осадками, которые имеют незначительную асимметричность распределения, были проанализированы на однородность по параметрическими критериям Фишера (F-критерий) и Стьюдента (t-критерий). Результаты проверки усредненные в пределах отдельных ландшафтно-гидрологических провинций, которые охватывают территорию Полесья, приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10

Количество случаев нарушения однородности рядов атмосферных осадков по параметрическим критериям, %

Месяцы	Ландшафтно-гидрологические провинции							
	Припятская		Бузько-Днестровская		Днестровско-Днепровская		Деснянская	
	F	t	F	t	F	t	F	t
01	50	0	50	38	89	14	40	0
02	25	0	75	0	55	0	60	0
03	0	0	0	0	11	0	20	0
04	50	0	38	0	33	0	20	0
05	25	0	13	0	22	0	20	40
06	25	0	13	0	45	11	0	0
07	50	0	38	0	11	0	20	0
08	50	0	13	0	22	0	40	0
09	50	0	13	0	33	0	40	0
10	50	0	25	0	22	0	0	0
11	25	0	38	0	45	0	0	0
12	0	0	0	50	0	28	20	40
Год	100	25	25	0	66	14	60	0

Критическое количество случаев нарушений (более 50 %) однородности рядов атмосферных осадков за год по критерию Фишера отмечается практически на всей территории Полесья. Нарушение однородности дисперсий месячных сумм атмосферных осадков характерно только в зимние месяцы. Следует отметить, что наибольшее количество случаев нарушений однородности рядов атмосферных осадков за месяц по F-критерию наблюдается на севере Полесья (Припятская ЛВП).

Проверка нарушений однородности рядов относительно средних значений (по критерию Стьюдента) показывает, что для Полесья не отмечено критического количества нарушений однородности годовых и месячных сумм атмосферных осадков. В результате сделан вывод о том, что колебания годовых и месячных сумм осадков в течение последних десятилетий (1989–2008 гг.) Происходят в пределах климатической нормы. Анализ изменений месячных и годовых сумм осадков на территории Полесья в пределах отдельных ландшафтно-гидрологических провинций течение 1989–2008 гг. по отношению к предыдущему периоду 1951–1988 гг. свидетельствует о несущественных изменениях годовых сумм осадков и перераспределении сезонных и месячных их значений (табл. 3.11). Большую часть Полесья формируют Припятская и Деснянская ЛВП. В их пределах количество осадков за 1989–2008 гг. выросло существенно в весенний и осенний сезоны, соответственно на 12 и 20 % и на 8 и 23 %. Это свидетельствует о росте весенних осадков на территории Восточного Полесья. Весной наибольший прирост количества осадков в Западном и Центральном Полесье приходится на март (25 %), а в Восточном Полесье – на май (32 %). Существенный рост осадков осеннего сезона в Западном и Центральном Полесье происходит в сентябре (18 %), а в Восточном Полесье – в сентябре и октябре (рост соответственно на 38 и 26 %). Суммы осадков летом изменились менее существенно: в Западном и Восточном Полесье наблюдается их рост на 5 %; в Восточном Полесье отмечается их снижение на 6 %. Зимний сезон на территории Полесья характеризуется существенным уменьшением количества осадков (7 %). При этом в январе наблюдается рост месячных сумм осадков на 13–15 %.

Кроме того, была проведена оценка изменения количества атмосферных осадков в Западном Полесье на кафедре водохозяйственной экологии, гидрологии и гидравлики НУВХП [23].

Таблица 3.11

Отношение средних многолетних сумм атмосферных осадков за месяц и год современного (1989-2008 гг.) и предыдущего (1951-1988 гг.) периодов наблюдений на территории Полесья в пределах ландшафтно - гидрологических провинций

Месяцы	Ландшафтно-гидрологические провинции			
	Припятская	Бузько-Днестровская	Днестровско-Днепровская	Деснянская
01	0,82	0,80	0,75	0,84
02	1,13	1,00	0,97	1,15
03	1,25	1,05	1,04	1,09
04	1,09	1,04	1,02	1,19
05	1,02	0,98	0,92	1,32
06	0,98	1,02	1,08	0,95
07	1,14	1,04	0,96	0,96
08	1,03	0,97	1,10	0,90
09	1,18	1,20	1,47	1,38
10	1,05	1,06	1,09	1,26
11	1,00	1,04	0,99	1,04
12	0,85	0,78	0,82	0,79
Год	1,04	1,00	1,02	1,05

Цель исследования – охарактеризовать статистическую значимость (определенность оценок) региональных трендов сумм атмосферных осадков, учесть возможную связность и цикличность рядов наблюдений. Для анализа региональных изменений атмосферных осадков за год использованы данные инструментальных наблюдений на 8 метеостанциях Западного Полесья и северной части Волыно-Подольской возвышенности с 1943 по 2010 год (учитывая базовый период 1961–1990 гг.). Предыдущая визуальная оценка многолетнего хода годовых сумм осадков (H_i), их модульных коэффициентов ($K_i = H_i / H_0$, где H_0 – среднее многолетнее значение годовых осадков), отклонений годовых осадков от их средней величины $(K_i - 1)$ и $(K_i - 1) / C_v$, показывает наличие возможной тенденции на увеличение осадков за период наблюдений (рис. 3.3). В результате был проведен анализ временной структуры рядов наблюдений в таких направлениях; установлено наличие связей между соседними членами ряда; регрессия данных наблюдений на время; возможное наличие различных циклов; однородность рядов наблюдений за статистическими критериями.

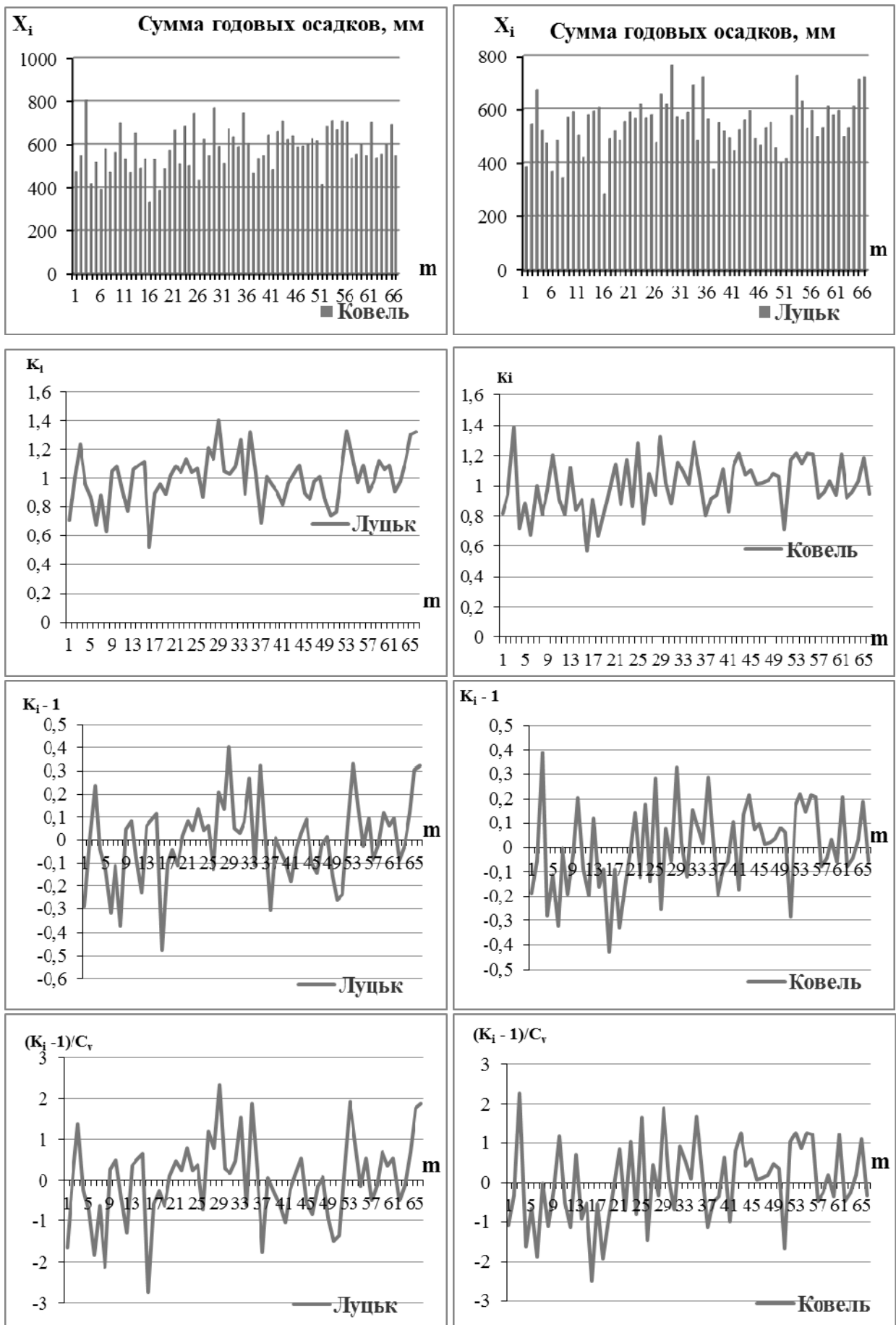


Рис. 3.3. Многолетний ход годовых осадков (Луцк, Ковель)

О наличии связности членов ряда между собой говорит коэффициент автокорреляции $r(1)$. Для его определения предварительно образуют из одного исходного ряда два, при этом второй вспомогательный ряд будет частью первого. В первом ряду отсутствует последний член, а во втором – первый, и число пар значений исходной величины на одну меньше общего объема совокупности. Для безсвязного ряда $r(1)$ фактически равна нулю. Для рядов со слабыми внутрирядовыми связями коэффициент $r(1)$ обычно равен 0,2–0,4. В таблице 3.12 приведена характеристика связности рядов годовых сумм атмосферных осадков.

Таблица 3.12

Коэффициенты автокорреляции рядов годовых сумм атмосферных осадков

Метеостанции	Период наблюдений	$r(1)$
Ровно	1945-2010	-0,005
Дубно	1945-2011	+0,054
Луцк	1946-2011	+0,259
Владимир-Волынский	1946-2011	+0,077
Ковель	1946-2011	-0,032
Свитязь	1947-2011	-0,002
Любешив	1947-2011	-0,079
Сарны	1946-2011	+0,048

Фактически для указанной территории можно говорить об отсутствии связи между членами рядов годовых атмосферных осадков, то есть ряды сформированы из случайных величин, и о вероятном отсутствии проявлений различных циклов.

Для изучения изменений параметров климата по данным рядов наблюдений используют оценки трендов среднего значения. Чаще всего определяют коэффициент линейного тренда, который характеризует скорость изменения уровня ряда на временном отрезке. В данном исследовании коэффициенты линейных трендов различных сумм атмосферных осадков (a) были определены по соотношению регрессионного анализа. Для оценки статистической значимости наличия тренда обычно применяют соотношение a/σ_a , где σ_a – выборочная изменчивость линейного тренда. В качестве критического условия, при котором не отклоняют наличие тренда, часто используют условие $a/\sigma_a \geq 2$. В таблице 3.13 приведены результаты трендового анализа рядов годовых сумм атмосферных осадков. Для исследуемых рядов фактически обнаружены статистически значимые положительные тренды годовых сумм атмосферных осадков.

Таблица 3.13

Характеристика линейных трендов рядов годовых сумм атмосферных осадков

Метеостанция	a , мм/год	a/σ_a	Метеостанция	a , мм/год	a/σ_a
Ровно	+1,68	3,74	Ковель	+1,57	3,69
Дубно	+2,21	4,87	Свитязь	+1,23	2,73
Луцк	+1,21	3,19	Любешив	+2,24	4,34
Владимир-Волынский	+2,67	5,39	Сарны	+1,26	2,94

Предварительно для оценки возможной цикличности и однородности рядов наблюдений были определены показатели их изменчивости и симметричности. Коэффициенты вариации (C_v), асимметрии (C_s) и эксцесса (C_z) были вычислены по известным соотношениям. Для проверки гипотезы о нормальном распределении были определены критерии согласованности по методу моментов. Указанные показатели и критерии приведены в таблице 3.14.

Гипотеза о нормативном распределении отклоняется, если хотя бы одно из значений $|C_s|$ и $|C_z|$ будет превышать соответствующий критерий согласованности. По ряду на метеостанции Любешов рассмотренная гипотеза не отклоняется.

Оценка временной структуры рядов годовых сумм осадков требует определения однородности рядов по статистическим критериям однородности. Для их применения необходимо точно определить моменты разделения совокупности на две части по характеристике возможной цикличности осадков. Исследование цикличности колебаний годовых сумм осадков проводилось по календарным графикам их изменений (рис. 3.4). Они не всегда дают полное представление о возможной цикличности по наличию малых циклов на фоне многолетних колебаний. Также были использованы графики скользящих средних значений за некоторый промежуток времени.

Статистические показатели рядов годовых сумм атмосферных осадков

Метеостанция	H_o , мм	C_v	$ C_s $	Критерии согласованности C_s	$ C_E $	Критерии согласованности C_E
Ровно	570,1	0,180	0,193	0,562	0,369	1,056
Дубно	608,2	0,174	0,002	0,558	0,046	1,050
Луцьк	555,0	0,174	0,158	0,562	0,296	1,056
Владимир-Волынский	597,1	0,181	0,042	0,562	0,804	1,056
Ковель	581,3	0,172	0,101	0,562	0,357	1,056
Свитязь	555,0	0,181	0,518	0,566	0,462	1,062
Любешив	573,3	0,188	0,033	0,566	1,081	1,062
Сарны	606,3	0,166	0,016	0,562	0,323	1,056

Они включают влияние резких колебаний в отдельные годы, но благодаря сглаживанию одновременно делают более неопределенными границы различных циклов. Более наглядное представление о циклах колебания годовых сумм атмосферных осадков дают разностные интегральные кривые (суммарные кривые отклонений годовых значений среднего его значения за период наблюдений). Интегральные кривые строят для рядов продолжительностью наблюдений не менее 50–60 лет в относительных величинах – модульных коэффициентах (K_i). Для этого последовательно добавляют отклонения модульных коэффициентов осадков хронологического ряда среднего многолетнего значения, равного единице, то есть находят $[\sum_1^t (K_i - 1)]$. Текущие ординаты интегральной кривой на конец t -го года от начала кривой определяют как $\sum_1^t (K_i - 1) = f(t)$. Для того, чтобы исключить влияние степени изменчивости на модульные коэффициенты, интегральные кривые строят по ординатам $[\sum_1^t (K_i - 1) / C_v] = f(t)$. Период времени, для которого участок интегральной кривой имеет наклон

вверх, соответствует фазе увеличения осадков. Период времени, для которого участок кривой имеет наклон вниз, соответствует фазе уменьшения годовых сумм осадков. Интегральные кривые годовых сумм осадков по годам наблюдений на указанных метеостанциях приведены на рисунке 3.5. Анализ разностных интегральных кривых показывает, что для 5 метеостанций можно выделить одну фазу уменьшения годовых сумм осадков, по которой начинается фаза их увеличения, а для 3 метеостанций выделяется по две соответствующие фазы. Сравнение интегральных кривых показывает, что многолетние колебания годовых сумм осадков являются синфазными, то есть на разных метеостанциях одновременно наблюдаются одинаковые фазы, но соотношение средних значений за эти фазы меняются (табл. 3.15). Абсциссы интегральных кривых, соответствующих 1965–1966 гг. и 1982–1997 гг. были определены моментами перехода между фазами изменения осадков. Последовательность фаз уменьшения и роста осадков позволяет выделить циклы изменения осадков. С помощью интегральных кривых для рядов наблюдений на метеостанциях Ровно, Луцк, Свитязь можно выделить два цикла изменения атмосферных осадков (табл. 3.16). Выделенные циклы проверялись на репрезентативность. Для этого применено соотношение $K_{cp} - 1 = (I_k - I_n) / m$. В нем: $K_{cp} - 1$ – отклонение среднего значения величины (модульного коэффициента) за интервал времени m лет от его среднего многолетнего значения за весь период наблюдений, равное единице; I_k та I_n – конечная и начальная ордината интегральной кривой за отрезок времени m лет (табл. 3.17). Выделенные циклы можно считать показательными, если $K_{cp} - 1$ для них будет близким к $K_{cp} - 1$ за весь период наблюдений. Для указанных метеостанций (исключая метеостанцию Луцк) выделенные циклы нельзя считать репрезентативными. Фактически для данной территории можно выделять один полный цикл изменения годовых сумм осадков, который включает две фазы. Фаза уменьшения – с середины 1940-х до 1960-х годов. Фаза роста – от середины 1960-х годов и до сегодняшнего дня. Моменты перехода от фаз уменьшения осадков к фазам их роста (моменты неоднородности) для метеостанций Свитязь и Луцк соответствуют 1964–1965 гг., для метеостанций Ровно, Дубно, Владимир-Волынский, Ковель, Сарны – 1965–1966 гг., для метеостанции Любешов – 1967–1968 гг.

Для подтверждения значимости выделенных трендов осадков были применены статистические критерии оценки однородности рядов. Оценку однородности рядов по параметрическим критериям начинают с оценки однородности выборочных дисперсий, которую осуществляют по критерию Фишера F с учетом $r(1)$. Для всех рядов обнаружено, что $F < F(\alpha)$, где $F(\alpha)$ – критическое значение статистики Фишера. Итак, можно считать, что различия в отклонениях совокупностей отсутствуют. В дальнейшем применяют критерий Стьюдента t , который характеризует однородность выборочных

средних. Во всех случаях обнаружено, что $t > t(\alpha)$, где $t(\alpha)$ – критическое значение статистики Стьюдента при наличии $r(1)$ для уровня значимости $\alpha = 0,005$ (5%). Это свидетельствует о том, что по разнице средних значений ряды годовых сумм осадков следует считать неоднородными (табл. 3.17).

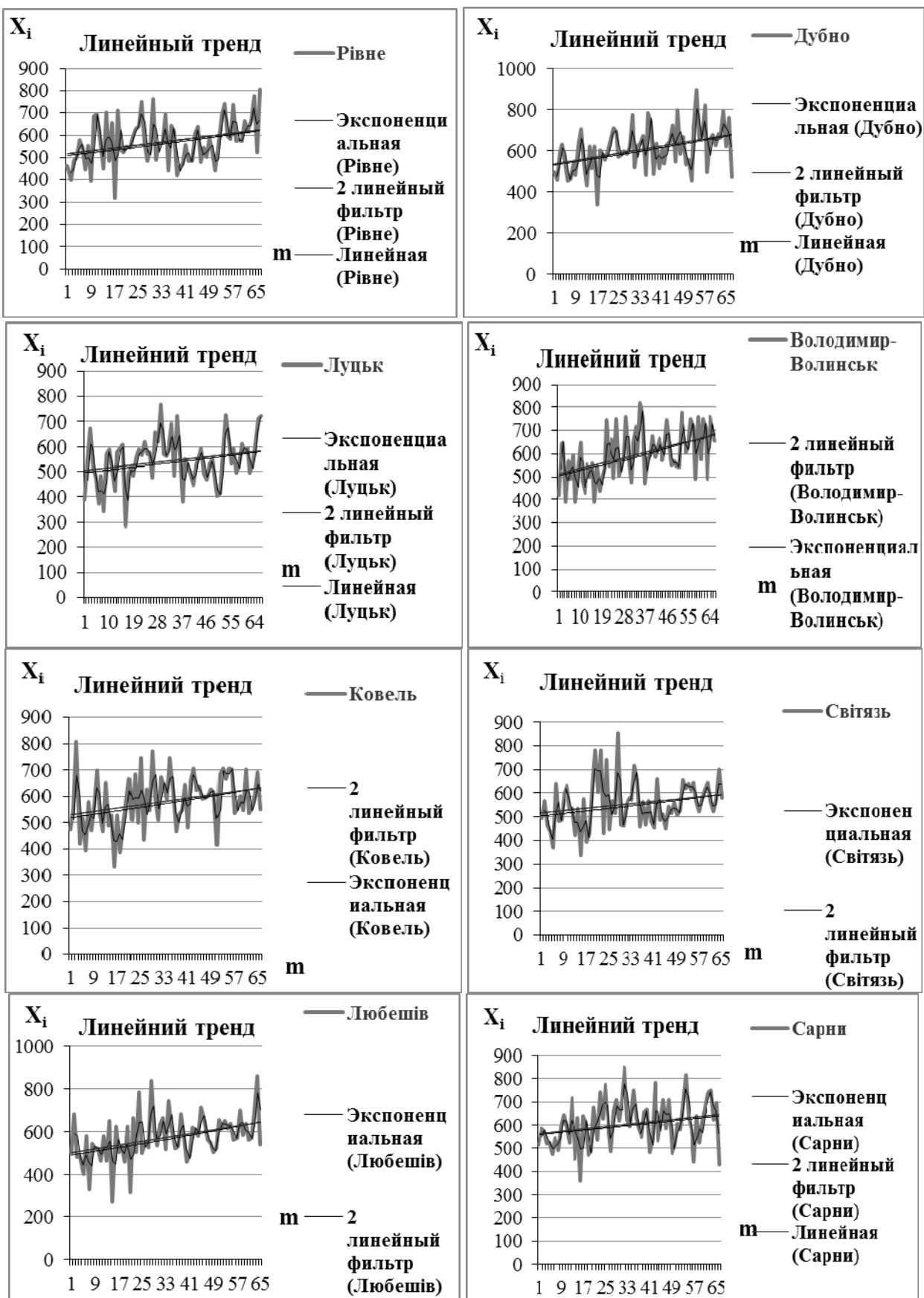


Рис. 3.4. Тренды годовых сумм атмосферных осадков

Таким образом, анализ временной структуры рядов годовых сумм атмосферных осадков для исследуемой территории показывает их постоянный рост. Положительный тренд атмосферных осадков с учетом их цикличности можно считать статистически значимым.

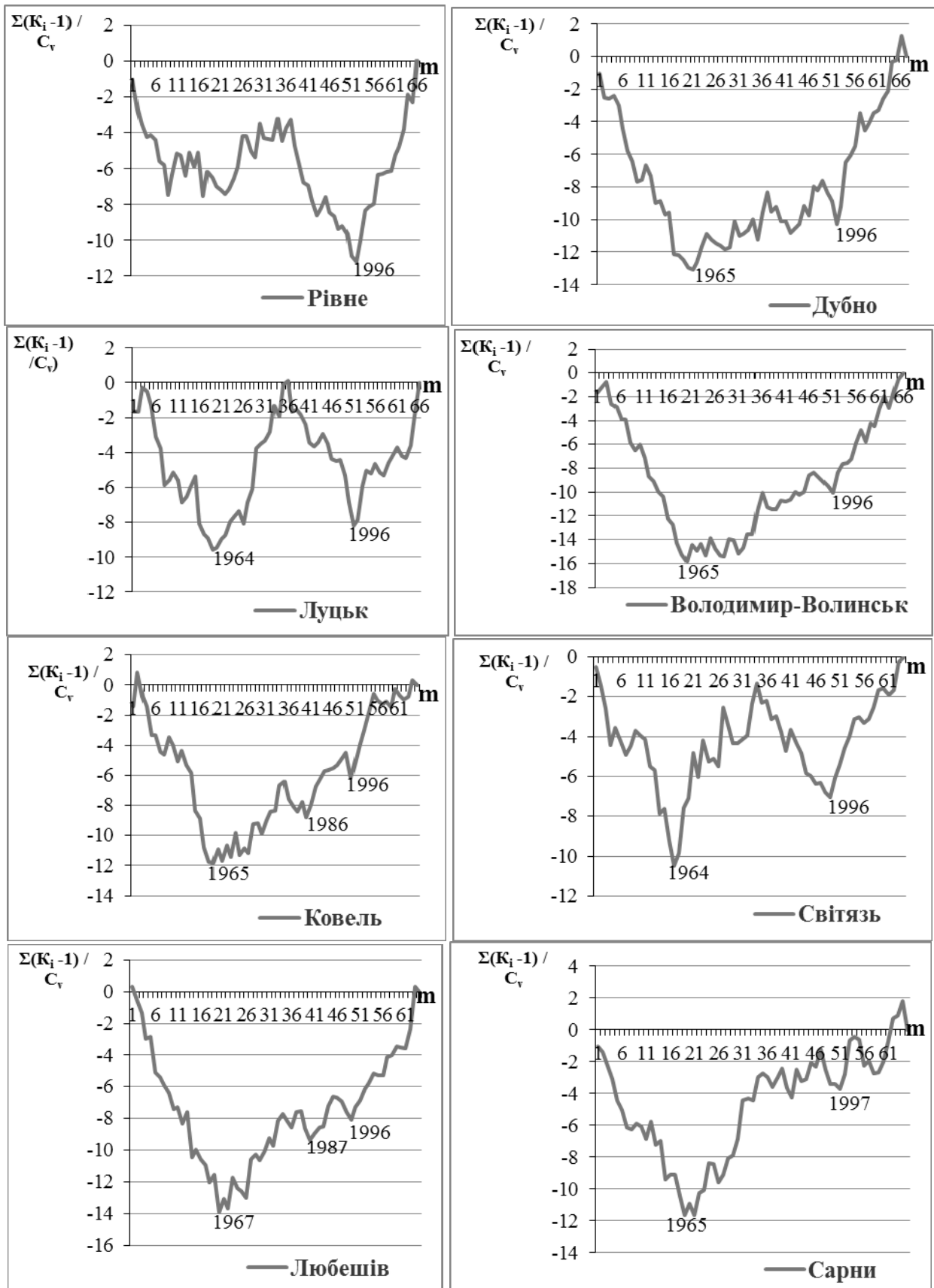


Рис. 3.5. Разностные интегральные кривые годовых сумм атмосферных осадков

Таблица 3.15

Характеристика изменения годовых сумм атмосферных осадков по фазам по разностным интегральным кривым

Метеостанция	Продолжительность фаз	Смена осадков	Метеостанция	Продолжительность фаз	Смена осадков
Ровно	1945-1965	-	Дубно	1945-1965	-
	1966-1981	+		1966-2011	+
	1982-1996	-	Владимир-Волинский	1946-1965	-
	1997-2010	+		1966-2011	+
Луцк	1946-1964	-	Ковель	1946-1965	-
	1965-1981	+		1966-2011	+
	1982-1996	-	Любешев	1947-1967	-
	1997-2011	+		1968-2011	+
Свитязь	1947-1964	-	Сарны	1946-1965	-
	1965-1981	+		1966-2011	+
	1982-1996	-			
	1997-2011	+			

Примечание: «-» – уменьшение осадков; «+» – увеличение осадков.

Таблица 3.16

Оценка репрезентативности циклов изменения годовых сумм атмосферных осадков

Метеостанция	Продолжительность цикла	Число лет, m	$K_{cp.} - 1$ за циклами	$K_{cp.} - 1$ за период наблюдений
Ровно	1945-1981	37	-0,060	+0,016
	1982-2011	29	+0,113	
Луцк	1948-1981	34	+0,012	+0,007
	1982-2011	30	-0,004	
Свитязь	1948-1981	34	-0,025	+0,008
	1982-2011	30	+0,045	

Таблица 3.17

Оценка однородности рядов годовых сумм атмосферных осадков по непараметрическим критериям с учетом моментов неоднородности

Метеостанция	W	X	S	Q	λ^2
Ровно	О	Н	О	О	Н
Дубно	О	Н	О	О	Н
Луцк	О	Н	О	О	Н
Владимир-Волинский	О	Н	О	Н	Н
Ковель	О	Н	О	Н	Н
Свитязь	О	Н	О	О	Н
Любешев	О	Н	О	О	Н
Сарны	О	Н	О	О	Н

Примечание: О – ряд однородный; Н – ряд неоднороден.

Возрастные изменения характерны для количества атмосферных осадков за зимний сезон, за периоды вегетации и активные вегетации, для влагозапасов в грунте под сельскохозяйственными культурами, которые являются элементами процесса влагооборота и формируют агроклиматические и агрогидрологические ресурсы территории. Сопоставление данных по 1891–1965 гг. и 1961–1990 гг. позволило выявить особенности этих изменений в течение XX в. [3]. Сделан вывод о росте атмосферных осадков в конце века за зимний сезон (на 5–43 мм), за период вегетации и за период активной вегетации (на 16–41 мм) для всей территории Украины (за исключением Прикарпатья и побережья Черного моря). Изменения температуры и количества осадков приводят к изменениям в атмосферном увлажнении, что, в свою очередь, приводит к различиям в агроклиматическом районировании. Расчеты гидрологического коэффициента Г. Т. Селянинова (ГТК) по данным 1961–1990 гг. по сравнению с данными 1891–1935 гг. показывают усиление засушливости стандартного климатического периода (то есть в конце XX в.) в Восточном Полесье (табл. 3.18) и несколько меньше – в Центральном Полесье (рис. 3.6).

Изменения условий атмосферного увлажнения на территории Полесья ($\Sigma t, ^\circ\text{C}$ – сумма температур и $\Sigma R, \text{мм}$ – сумма осадков за период вегетации)

Показатели	Полесье		
	Западное	Центральное	Восточное
	за 1891-1935 гг.		
ГТК	1,3-1,7	1,3-2,0	1,3-1,7
$\Sigma t, ^\circ\text{C}$	2400-2500	2400-2500	2300-2400
$\Sigma R, \text{мм}$	400-500	350-400	350-400
	за 1961-1991 гг.		
ГТК	1,3-1,6	1,3-1,6	1,0-1,3
$\Sigma t, ^\circ\text{C}$	2400-2600	2500-2600	2500-2600
$\Sigma R, \text{мм}$	390-430	400-430	370-390

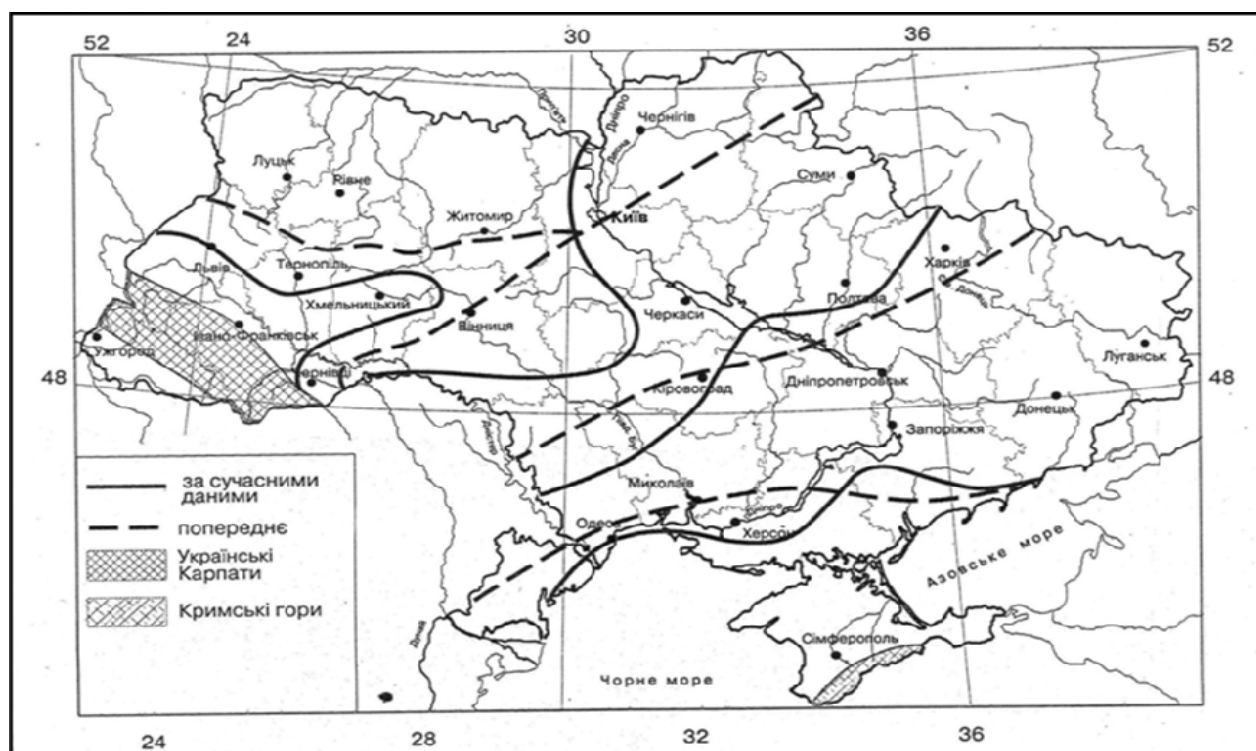


Рис. 3.6. Схема агроклиматического районирования территории Украины

По данным 1961–1990 гг. выделены агроклиматические зоны для территории Полесья (рис. 3.1) отличаются от предыдущего районирования (1891–1935 гг.). Западное и Центральное Полесье находятся в зоне достаточного и избыточного увлажнения ($\text{ГТК} > 1,3$), а Восточное Полесье – в зоне недостаточного увлажнения ($\text{ГТК} = 1,0-1,3$).

Запасы почвенной влаги как элемента процесса влагооборота характеризовались межгодовой динамикой как возрастной тенденцией. По данным наблюдений в течение 1950–1979 гг., был обнаружен под озимой пшеницей осенью ежегодный рост запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы до 0,4–5,8 мм [17]. В весенне-летний сезон было обнаружено уменьшение в пределах 0–4,6 мм. Под озимыми культурами выявлено увеличение от 0–2,6 мм. По результатам статистической обработки данных наблюдений по запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы за 1961–1990 гг. на значительной территории в природных зонах под различными культурами и в разные периоды был выявлен факт постепенного увеличения запасов. По средним данным в отдельные десятилетия прослеживается постепенное увеличение почвенного увлажнения территории. Средние запасы продуктивной влаги под озимой пшеницей в осенний (август – ноябрь) и летне-осенние сезоны (март – июнь) за 10-летний период 1961–1970 гг. были существенно меньше нормы за 30 лет (1961–1990). В этот же период запасы под яровым ячменем почти равны норме. По десятилетним периодам 1971–1980 гг. и 1981–1990 гг. запасы под этими культурами были близки к норме (несущественное превышение или уменьшение). Были обнаружены статистически значимые тренды увеличения грунтовых влагозапасов. В результате был сделан вывод о подтверждении наличия возрастной динамики влаго-

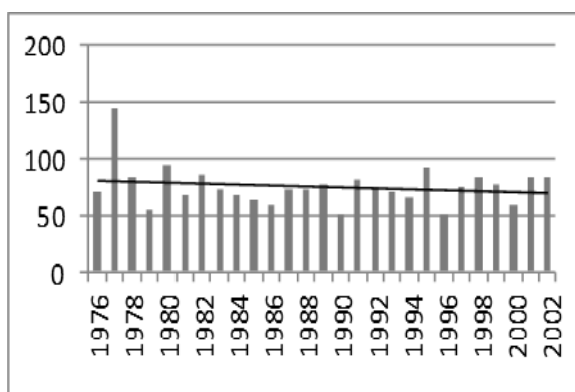
запасов как общей закономерности особенностей изменения климата. Считается, что доминантной является положительная тенденция изменения влагозапасов в метровом слое почвы.

В НУВХП для территории Западного Полесья был проведен статистический анализ временных рядов средних запасов продуктивной влаги под озимой пшеницей за весенне-летнюю вегетацию под яровым ячменем за период 1976–2003 гг., который соответствует возобновлению интенсивного потепления климата в Северном полушарии [18]. Были проанализированы средние за вегетацию запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см и 0–100 см в виде средних арифметических значений из стандартных декадных измерений термостатно-весовым способом на метеостанции Ровно. Исследованы направления изменений грунтовых влагозапасов во времени и квазипериодические (циклические) колебания вокруг среднего значения. Направления изменений оценивались как регрессия данных наблюдений на время с помощью коэффициента линейного тренда (α) (рис. 3.7 и табл. 3.19)

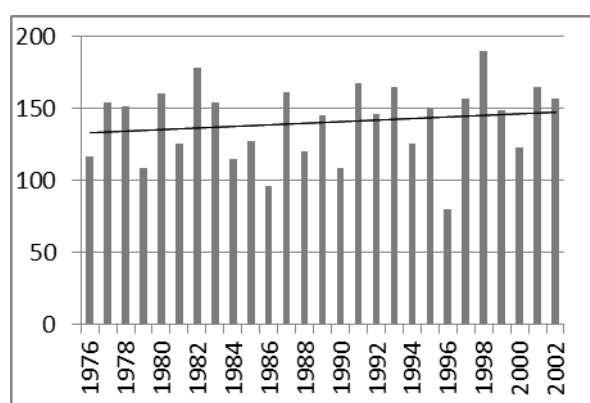
Таблица 3.19

Параметры линейных трендов средних за вегетацию запасов продуктивной почвенной влаги (1976–2003 гг.), метеостанция Ровно

Слой почвы, см	α , мм/10 лет	$\square \alpha \square / \sigma_\alpha$
Озимая пшеница (весенне-летняя вегетация)		
0-50	-4,4	0,96
0-100	+4,8	0,87
Яровой ячмень		
0-50	+1,1	0,30
0-100	+5,5	0,81



Озимая пшеница 0–50 см



Яровой ячмень 0–50 см

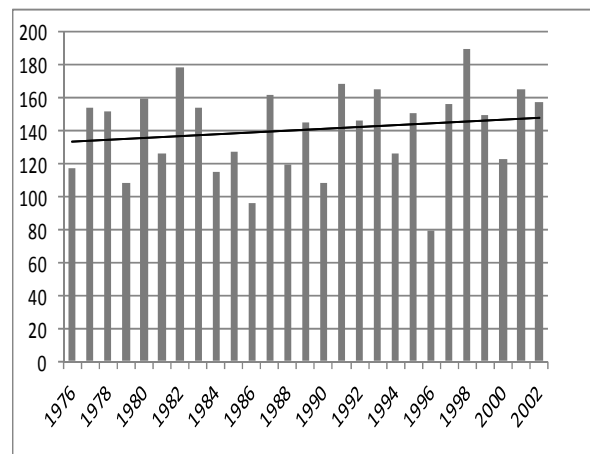
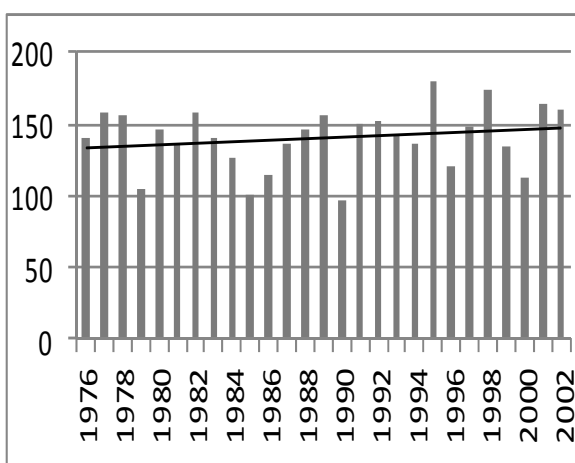


Рис. 3.7. Средние за вегетацию запасы продуктивной почвенной влаги (мм) за период наблюдений 1985 – 2011 гг., метеостанция Ровно

Направленные изменения запасов продуктивной влаги, за период 1976–2003 гг. в целом незначительны (от 1,1 до 5,5 мм/10 лет) и в метровом слое почвы выражены сильнее, чем в слое 0–50 см. В метровом слое направленные изменения положительные. Для оценки статистической значимости

наличия тренда были определены отношения коэффициента линейного тренда (α) к погрешности коэффициента линейного тренда (σ_α). Тренд считается статистически значимым, если $|\alpha| / \sigma_\alpha \geq 2,0$. Таким образом, выявленные тренды нельзя считать статистически значимыми или обнаруженными.

Исследования циклических колебаний средних за вегетацию запасов продуктивной влаги в почве были проведены с помощью разностных интегральных кривых (рис. 3.8). Были обнаружены фазы увеличения или уменьшения запасов влаги в почве. В слое почвы 0–50 см под озимой пшеницей можно выделить фазу их увеличения до 1982 г., а с 1983 г. – фазу уменьшения.

В этом слое под яровым ячменем фаза увеличения отмечалась до 1982 г., фаза уменьшения – до 1996 г., а в дальнейшем – фаза роста. В слое почвы 0–100 см запасы влаги росли под озимой пшеницей в 1982 г., в дальнейшем они уменьшались до 1990 и после этого снова росли. В этом слое почвы под ярым ячменем: рост в 1983 г. и уменьшение до 1996 г., далее – фаза роста.

Возрастные изменения испарения как элемента влагооборота вызваны изменением во времени и пространстве крупномасштабных циркуляционных процессов [15]. Выявлено, что в пределах территории Украины наблюдается уменьшение испарения, при этом величина этих изменений на указанной территории Полесья является относительно меньшей по сравнению с другими регионами. Сравнение характеристик суммарного испарения за лето и за год, рассчитанных за период наблюдений в 1960 г. и за 1961–1990 гг., показало изменения режима испарения как следствие изменения влаго-температурного режима осадков. В летний сезон суммарное испарение на территории Полесья возросло до 300–320 мм. За счет перераспределения между сезонами годовая сумма испарения на этой территории изменилась незначительно.

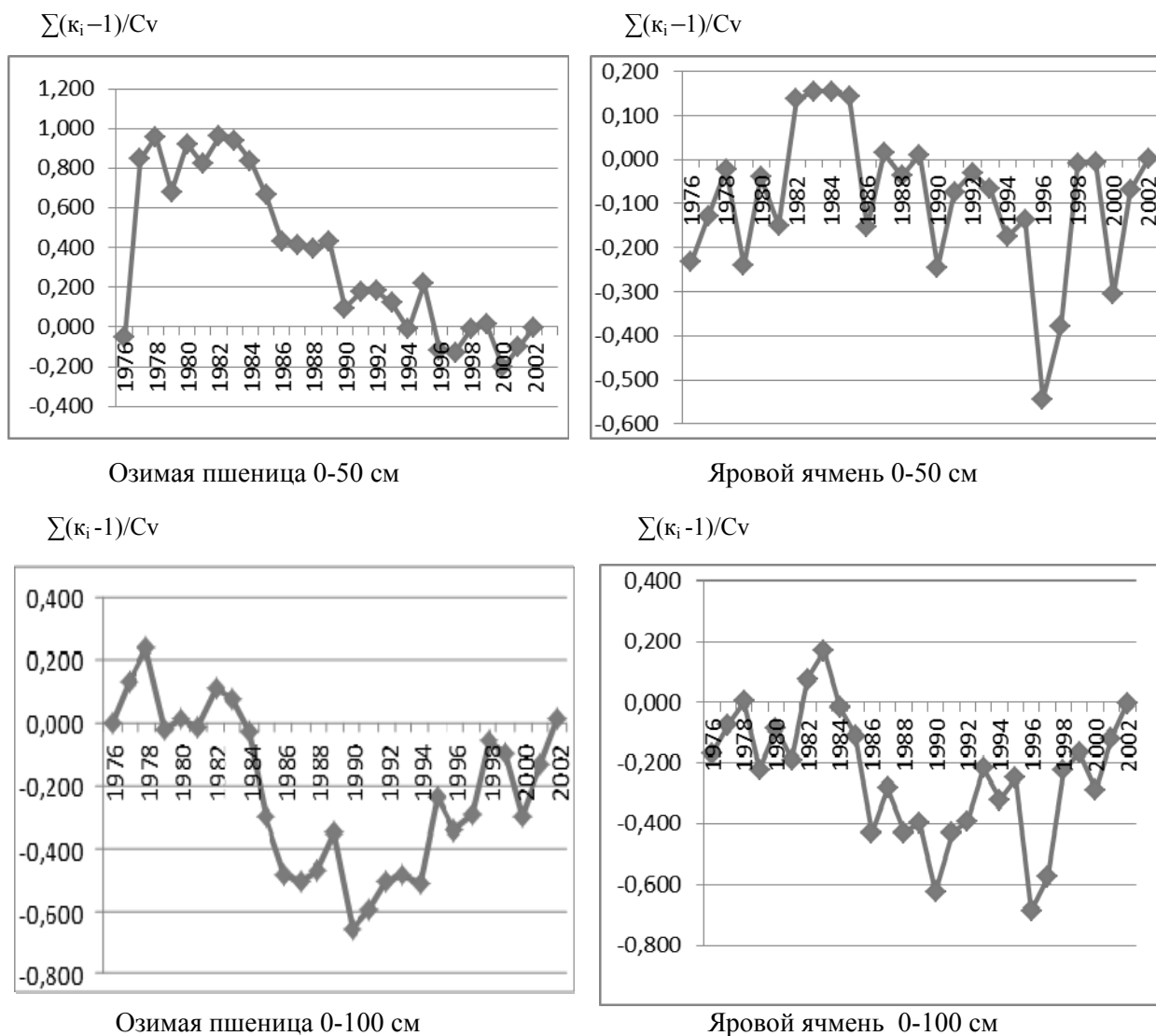


Рис. 8. Разностные интегральные кривые средних за вегетацию производительных запасов почвенной влаги, метеостанция Ровно

Изменение климата в Украине и на территории Полесья происходит в соответствии с изменениями процессов в Атлантико-Европейском секторе, к которому относится и циркуляция на территории Украины. Атмосферная циркуляция за два последних десятилетия существенно отличается от атмосферной циркуляции предыдущих периодов. Вследствие этого в холодный период температура воздуха возросла. Холодный воздух с Сибирского максимума почти не достигает территории Украины, поэтому не создается устойчивой морозной погоды. В холодный период года наблюдается снижение давления относительно предыдущих лет. В новых условиях режим погоды стал неустойчивым. Оттепели с дождями и положительной аномалией температуры сменяются кратковременными, но сильными похолоданиями [20, 21]. Изменения приземной циркуляции отмечены и в летний период, когда циркуляционные процессы вызывает главным образом Азорский максимум. В это время наблюдается повышение атмосферного давления относительно предыдущих лет. Преобладает неустойчивая погода со значительной вероятностью вторжения холодных воздушных масс в тылу циклонов и выпадением осадков [22]. Повторяемость преобладающего направления ветра за 1961–1990 гг. по сравнению с 1936–1960 гг. не изменилась. По данным наблюдений, средняя скорость ветра уменьшилась в конце XX в. на 10–30 %. Однако на отдельных метеостанциях (Чернигов, Житомир) наблюдается ее рост.

Таким образом, суммируя изложенное, следует сделать ряд выводов.

Наиболее полно исследованы региональные изменения климата Украинского Полесья только по одному из элементов климатотворного процесса – теплообмену по осредняемой летней и месячной приземной температуре воздуха. Изменения других элементов процессов образования климата оцениваются недостаточно полно.

Динамика температуры воздуха в украинском Полесье в целом отражает вековой ход глобальной температуры. Изменения температуры воздуха для данной территории оценены за разные периоды наблюдений. За 1900–2000 гг. рост температуры за год составил 0,7–0,9 °С, при этом наибольшее потепление происходит зимой, весной, а летом и осенью изменения температуры незначительны. За период 1951–2008 гг. выявлено, что началом современного потепления можно считать 1989 г. Рост температуры воздуха за год с этого момента составляет 0,9–1,0 °С, увеличение наблюдается зимой, весной, летом. Территориально интенсивность потепления возрастает с запада на восток. Анализ числа дней с высокой и низкой температурой воздуха, с оттепелью, продолжительности периодов вегетации и активной вегетации подтверждают потепление на территории Украинского Полесья с конца XX в.

3.3. Атмосферные явления

Атмосферные явления – это физические процессы, которые сопровождаются быстрым качественным изменением состояния атмосферы. Эти явления происходят при определенных синоптических процессах. В большинстве случаев наблюдения за атмосферными явлениями проводятся визуально, по некоторым явлениям – автоматизированно. Сегодня продолжительность атмосферных явлений определяется в часах и минутах. Климатологические характеристики атмосферных явлений оценивают по среднему и наибольшему числу дней с явлением, по их продолжительности, повторяемости и интенсивности. В холодный период характерными атмосферными явлениями бывают метели различной интенсивности, снегопады, гололедно-изморозевые образования, туманы. В теплый период отмечается гроза, град, бездождевой период, пылевая буря, суховей, засуха, шквалы, смерчи. Стихийными метеорологическими явлениями называют атмосферные явления, которые по своей интенсивности, периодам возникновения, продолжительности и площади распространения могут нанести или нанесли ущерб экономике и населению.

Туман является одним из опасных атмосферных явлений. Он представляет собой скопление взвешенных в приземном слое атмосферы капель воды или кристаллов льда, которое ухудшает горизонтальную видимость на расстоянии до 1 км. Многолетние характеристики туманов различных типов за период 1961–1990 гг. [1] приведены в таблице 3.20.

Адвентивные туманы наблюдаются в холодный период года при адвекции теплого, влажного воздуха с Атлантического океана, Средиземного и Черного морей и столкновения его с холодной подстилающей поверхностью. Повторяемость туманов этого типа составляет 60 % на западе и 30–40 % на востоке данной территории. Радиационные туманы образуются, как правило, в теплое время года в результате ночного охлаждения воздуха в приземном слое атмосферы ниже начального значения точки росы, прилегающего воздуха. Этот тип туманов возникает в малооблачную погоду в антициклонах за слабого ветра и высокой влажности воздуха. Повторяемость таких туманов на данной территории составляет 20–30 % на юге и 50 % на востоке.

Характеристики атмосферных явлений холодного периода

Показатели	Западное Полесье	Центральное Полесье		Восточное Полесье	
	Волынское и Малое Полесье	Житомирское Полесье	Киевское Полесье	Черниговс- кое Полесье	Новгород- Северское Полесье
1. Среднее число дней с туманами за год	30-50	35-55	40-55	45-55	45-55
2. Среднее число дней с гололедом за год	10-12	10-17	10-17	10-15	10-12
3. Максимальный диаметр (мм) гололеда за год	40-15	15-25	20-25	15-25	15-30
4. Среднее число дней с изморозью за год	8-15	12-17	12-17	17-20	17-20
5. Среднее число дней с метелью за год	10-20	10-17	12-16	12-16	16-20
6. Средняя продолжительность (час) метелей	22-27	22-27	22-25	22-25	25-27

Территориальное распределение числа дней с туманом (табл. 3.20) характеризуется значительной изменчивостью и зависит от синоптических процессов и характера подстилающей поверхности. В Западном Полесье эта характеристика возрастает с запада на восток. В Центральном Полесье в целом можно отметить широтный рост числа дней с туманом с севера на юг. В Восточном Полесье наблюдается уменьшение этой характеристики с севера и северо-запада на юг и юго-восток. Изменчивость туманов характеризуется средними отклонениями и коэффициентом вариации числа дней с туманом. Для данной территории они соответственно составляют 9–13 дней и от 0,2 до 0,4. Полесье имеет плавный годовой ход повторяемости туманов: частота их увеличивается с октября-ноября и достигает максимума в декабре-январе, летом повторяемость туманов минимальная. Наибольшая суммарная продолжительность туманов за год составляет 300–400 ч. Максимальная повторяемость тумана (30 %) наблюдается, когда видимость в диапазоне 101–200 м.

Гололедно-изморозевые образования возникают в результате обледенения при оседании переохлажденных капель воды, которые находятся в воздухе в виде тумана, дымки или дождя на проводах и различных предметах. Самыми опасными из них являются гололед и кристаллическая изморозь. Гололед образуется главным образом при прохождении атмосферных фронтов южных циклонов. Основными характеристиками гололеда считаются даты его появления и разрушения, повторяемость, продолжительность периода формирования и существования, интенсивность отложения. На данной территории гололед наблюдается в основном с ноября по март. Основной особенностью распределения среднего числа дней с гололедом здесь является увеличение повторяемости с северо-запада на юго-восток (табл. 3.20). Наибольшее число дней с гололедом распределяется на территории аналогично среднему числу дней и составляет 20–30 дней. Наибольшее число дней с гололедом отмечается в декабре-январе и достигает на северо-востоке 3–6 дней. В феврале их число несколько меньше, а в ноябре и марте гололед бывает не ежегодно. Повторяемость гололеда испытывает значительные колебания от года к году. За период 1950–2000 гг. число дней с гололедом в 1970 г. было выше среднего значения, в дальнейшем наблюдается тенденция к их уменьшению, что связано с изменением общей циркуляции атмосферы и условий формирования и образования гололеда. Чаще всего (в 60–80 %) гололед длится до 6 ч. Максимальная продолжительность гололеда может превышать 300 ч. Диаметр гололеда определяет интенсивность обледенения проводов. На территории Полесья повторяемость гололеда со средним диаметром от 2 до 4 мм равна 70–80 %. Пространственное распределение максимальных отложений гололеда характеризуется неравномерностью или пятнистостью (табл. 3.20). Это определяется условиями циркуляции атмосферы и рельефом местности. Так, в районе Ровно возможен максимальный диаметр гололеда в 40 мм.

Образование гололеда в большинстве случаев происходит при температуре воздуха от 0 °С до –4 °С во время выпадения мороси, дождя или наличия тумана и на территории Полесья сопровождается юго-восточным ветром. Гололед в 45–60 % случаев наблюдается при скорости ветра 2–5 м/с. По вероятности появления гололеда с учетом его максимального диаметра выделены районы, подлежащие воздействию гололедоопасных отложений. Территория Полесья включает районы с относительно низкой вероятностью опасных отложений: в Ровенской, Житомирской, Киевской областях гололед

бывает с 10%-ной вероятностью (один раз в 10 лет); в Волынской, Черниговской, Сумской областях гололед бывает с 5%-ной вероятностью (один раз в 20 лет).

Наиболее опасна зернистая изморозь. Она может иметь удельную массу от 0,10 до 0,60 г/см³. Наблюдается при наличии теплого влажного воздуха значительной вертикальной мощности при его охлаждении в приземном слое атмосферы. Изморозь формируется результате намерзания капель переохлажденного тумана при перемещении теплых фронтов циклонов с юга или юго-запада в условиях туманной ветреной погоды. Изморозь отмечается на всей территории Полесья, ее распределение неравномерное вследствие влияния местных условий: высота места, форма рельефа, экспозиция склонов, защищенность от влажного несущего потока воздуха. Но в целом в Западном Полесье среднее число дней с изморозью за год не превышает 5–15, что связано с относительно высокой температурой воздуха в холодный период года, частыми оттепелями и переходами температуры через 0 °С, тогда как в Восточном и Центральном Полесье число дней с изморозью за год возрастает до 17–20. Иней на данной территории обычно наблюдается с ноября по март. Чаще всего он бывает в январе и составляет в западном Полесье 3–5, а в Восточном Полесье – 6–8 дней. Повторяемость изморози от года к году испытывает значительные колебания. По данным наблюдений 1950–2000 гг., не обнаружено уменьшение или увеличение числа дней с изморозью за год за период 1990–2000 гг. На территории Полесья изморозь может охватывать значительные участки: корреляционная зависимость числа дней с изморозью за год между метеорологическими станциями прослеживается на расстоянии до 250–300 км. Средняя продолжительность изморозных отложений на данной территории колеблется в пределах от 15 до 20 ч. Максимальная продолжительность изморози составляет 50–100 ч, но в отдельных пунктах она длится более 300 ч. Продолжительность изморози до 12 ч наблюдается чаще, в 80–90 % случаев. На данной территории в большинстве случаев (70–80 %) диаметр изморози не превышает 15 мм. Наиболее опасна изморозь диаметром свыше 50 мм. На данной территории такое явление довольно редкое, но в Восточном Полесье диаметр изморози может превышать 70 мм.

Метель включает в себя два взаимосвязанных процесса переноса снега. Первый – это общая метель, представляет собой перенос снега, выпавшего ранее, и снега, который выпадает в данный момент. Второй – это низовая метель. Она представляет собой перенос выпавшего ранее на земную поверхность снега. При этом следует отметить, что поземка – это перенос снега в слое воздуха, непосредственно прилегающем к земной поверхности. В 50 % случаев на данной территории метели связаны с перемещением южных циклонов и котловин с юга и юго-запада. В 40 % случаев метели обусловлены прохождением котловин и ныряющих циклонов с запада и северо-запада. Режим метелей зависит от характеристик снежного покрова, скорости и направления ветра, состояния подстилающей поверхности, температуры и влажности воздуха. На продолжительность и интенсивность метелей влияют защищенность, открытость и высота места. На данной территории первые метели отмечались в октябре, а наибольшая активность метелей приходится на январь–февраль. Чаще всего на данной территории метели образуются на юге Западного и Житомирского Полесья, где в среднем за год отмечается 15–20 дней с метелью. Территориальное распределение среднего числа дней с метелью за год характеризуется увеличением этой характеристики с севера на юг в Западном и Житомирском Полесье. В Киевском Полесье характерно уменьшение этого числа с запада на восток. На территории, соответствующей Восточному Полесье отмечается увеличение среднего числа дней с метелью за год с запада на восток. Наибольшее число дней с метелью за год находится в пределах 25–33. Корреляционная связь числа дней с метелью между метеорологическими станциями показывает, что на данной территории она прослеживается на расстоянии до 150 км.

Итак, метели могут охватывать значительные площади. Степень их опасности определяется их продолжительностью. Средняя продолжительность метелей составляет 6–7 ч. Максимальная продолжительность метелей и отмечается в январе–феврале. Средняя по наибольшей продолжительности метелей в год на территории Западного и Центрального Полесья растет с севера и северо-востока на юг, а в Восточном Полесье с запада на восток (табл. 3.21). Сильные метели на данной территории наблюдаются повсеместно и почти ежегодно. Их частота в среднем за зиму может достигать 5 дней. Наибольшая повторяемость сильных метелей приходится на февраль и январь, соответственно 41 и 32 %. Повторяемость сильных метелей составляет 10–20 % всех метелей. Частота сильных метелей значительно меняется от года к году. С 1986 г. проявляется тенденция к усилению вьюжной деятельности. Степень опасности метелей также определяется ветровым режимом. На данной территории в северо-восточных районах метели сопровождаются ветром восточных румбов, а в других районах – ветром северо-западных румбов. В 40–60 % случаев метели возникают при скорости ветра 6–9 м/с. Сильные метели в 70 % случаев сопровождаются ветром со скоростью 15–50 м/с. Температура воздуха во время метелей в 50 % случаев колеблется в пределах от –10 °С до –5 °С и в 20–30 % – наблюда-

ется температура -15°C ... -10°C . В целом по степени повторяемости, интенсивности, продолжительности метелей, особенностей синоптических условий и рельефа местности южную часть Западного Полесья и Новгород-Северского Полесья можно отнести к так называемому второму району, где среднее число дней с метелью составляет 15–30, всего 30–40, средняя продолжительность одной метели – 8–10 ч, сильные метели отмечаются довольно часто (50%-ная вероятность), то есть один раз в два года. Другая часть Полесья входит в так называемый третий район, где среднее число дней с метелью составляет 5–15, всего 20–30, средняя продолжительность одной метели составляет 8–10 ч, сильные метели отмечаются с 20–30%-ной вероятностью, т. е. один раз в 3–5 лет.

Гроза относится к опасным атмосферным явлениям. Она сопровождается электрическими разрядами, значительными осадками и нередко градом. Условием возникновения грозы является наличие вертикальных движений в атмосфере. Они обуславливают развитие конвективных облаков значительной мощности и кристаллов в верхней части облака. В таком облаке происходят взаимосвязанные процессы: рост, перемещение, накопление облачных частиц и гидрометеоров; увеличение электрических зарядов и упругости. Образование заряженных областей в грозовых облаках начинается с электризации облачных частиц и гидрометеоров. Механизмы электризации возникают за счет взаимодействия составляющих облаков с атмосферой и за счет взаимодействия облачных частиц между собой. Зарядка облачных частиц на начальной стадии развития облаков происходит от ионов атмосферы. В дальнейшем заряды образуются вследствие коагуляции и контактных процессов под действием электрического поля. Формирование заряженных областей в грозовых облаках, главным образом, обусловлено действием восходящих движений и гравитационных сил. Интенсивный механизм электризации возникает при столкновении капель воды с ледовыми долями в электрическом поле.

Грозы принято разделять на фронтальные и внутримассовые. Первые наблюдаются при перемещении атмосферных фронтов различного типа. Грозы на холодном фронте связаны с мощным вытеснением вверх теплого, влажного воздуха с неустойчивой стратификацией действием, наступающего вала холодного воздуха. На теплом фронте грозы связаны с ростом неустойчивости стратификации теплого воздуха, который поднимается над фронтальной поверхностью и способствует развитию конвекции. Грозы на фронтах окклюзии (особенно по типу холодного фронта) связаны с тем, что более холодный воздух вытесняет менее холодный, проникает под поверхность теплого фронта и поднимает наверх теплый воздух. Это приводит к развитию целого вала кучево-дождевых облаков с линией фронта. Около 70 % гроз на данной территории имеют фронтальное происхождение и связаны в основном с холодным фронтом. Внутримассовые грозы обусловлены конвекцией. В теплых массах воздуха они возникают вследствие нагревания подстилающей поверхности в малоградиентном поле повышенного или пониженного давления. В холодных массах воздуха они возникают при их перемещении на теплую подстилающую поверхность. Характеристиками грозовой деятельности является число дней с грозой и их продолжительность в часах, хотя они будут неполными потому, что не пропорциональны количеству грозовых разрядов, определяющих вероятность нарушения работы наземных объектов транспорта и возникновения пожаров.

Оценка характеристик грозовой деятельности, проведенная в 1961–1990 гг., показывает, что на территории Полесья в среднем за год наблюдается 27–30 дней с грозой. Пространственное распределение числа дней с грозой за год обусловлено характером общей циркуляции атмосферы и рельефом местности. Большая часть территории Полесья находится в районе с менее интенсивной грозовой деятельностью. Он расположен севернее равнинных районов с повышенной грозовой активностью и простирается полосой с северо-востока на юго-запад (линия Сумы, Черкассы, Умань, Кишинёв, соответствующая оси Воейкова). Только в северо-западной части Западного Полесья и северной части Восточного Полесья среднее число дней с грозой за год превышает 30 дней. Отношение количества гроз к числу дней с грозой за год находится в пределах 1,00–1,15. В основном грозы наблюдаются в теплый период года. Повторяемость гроз с мая по сентябрь составляет 96–97 % от общего их количества. Зимние грозы бывают один раз в 20–25 лет. На данной территории гроз весной (апрель–май) в 2–2,5 раза больше, чем осенью (сентябрь–октябрь). Грозы в мае составляют 15–20 % от общего количества, а в сентябре – 7 %. Чаще всего грозы наблюдаются в июне; их повторяемость составляет 50–55 % всех гроз.

В целом для территории Полесья годовой ход среднего числа дней с грозой является однотипным: апрель – наблюдается 1–2 грозы за три года; май – наблюдается 5–6 дней с грозой; июнь–июль – ежемесячно бывает 7–8 дней с грозой; август – 5–6 дней; сентябрь – не более 2 дней. На территории Полесья наибольшее число дней с грозой колеблется в пределах 35–38. Суммарная продолжительность гроз в год в среднем составляет на данной территории примерно 60 часов, но этот показатель значительно меняется по территории по сравнению с делением числа дней с грозой. Отдельные ячей-

ки с продолжительностью гроз более 80 часов выделяют на границе с Польшей в Западном Полесье и на северо-восток от Житомира на границе Киевского и Житомирского Полесья. Отдельные ячейки с продолжительностью гроз менее 60 часов выделяют на грани Волынского и Житомирского Полесья, по линии Ровно – Житомир, на границе Киевского и Черниговского Полесья и в Новгород-Северском Полесье. Вокруг Киева наблюдается очаг, где суммарная продолжительность гроз в год 40 часов и менее. На данной территории длительные грозы наблюдаются в июне-августе. На этот период приходится 75–80 % годовой суммы. В этот период ежемесячно продолжительность гроз составляет 15–20 часов. Весной продолжительность гроз составляет: в апреле – менее 4 часов; в мае – 8–9 часов (15–20 % годовой продолжительности). Осенью грозы менее длительные: в сентябре – 3–4 часа; в октябре – 0,2–0,4 часа. Продолжительность одной грозы составляет для данной территории в среднем 2,1–2,3 часа. В местах, где большое влияние имеют водоемы, продолжительность гроз значительно меньше (Киев – 1,4 ч). Но при этом на подветренной стороне в направлении движения ведущего потока воздуха по Киевскому водохранилищу продолжительность гроз возрастает и составляет 2,4–2,6 ч. Длительные грозы образуются во второй половине дня. Их продолжительность составляет 40–45% суммарной продолжительности в сутки. За последние десятилетия среднее число дней с грозой почти не изменилось (1–2 дня), но максимальное число дней увеличилось в среднем на 4 дня. Изменяется частота образования гроз, что связано с изменениями в положении высотной фронтальной зоны и усилением меридиональных процессов над Украиной.

Град – это опасное атмосферное явление, которое представляет собой округлые или неправильной формы частицы льда, которые выпадают в теплый период года из мощных кучево-дождевых облаков и для которых характерен значительное вертикальное движение и высокое содержание влаги. Градовые облака развиваются вследствие интенсивных конвективных движений, которые возникают на холодных атмосферных фронтах и атмосферных фронтах окклюзии по типу холодного. Также градовые облака могут быть вызваны нагревом массы воздуха от подстилающей поверхности при внутримассовых атмосферных процессах. Интенсивность образования града будет наибольшей, когда совпадают фронтальные и внутримассовые атмосферные процессы. Повторяемость града связана с прохождением холодных фронтов и фронтов окклюзии и составляет 57 %, а повторяемость, связанная с внутримассовыми процессами, – 47 %. Летом формирование града в 75 % случаев происходит под действием фронтальных процессов. В апреле и сентябре выпадение града вызвано внутренними массовыми процессами. Размер убытков зависит от размера градин, их плотности и интенсивности выпадения. В большинстве случаев (40 %) характерно выпадение мелкого, интенсивного града. Крупный град, с диаметром градин 20 мм и более, имеет повторяемость 30 %. Максимальный размер градин составляет 50–80 мм, а в отдельных местах превышает 100 мм. Градины размером с куриное яйцо имели место на территории Полесья 19 июня 1969 г. в Житомирской области, 25 июня 1981 г. и 10 июля 1986 г. в Черниговской области.

На территории Полесья среднее число дней с градом не превышает двух. Вблизи водоемов число дней с градом уменьшается до одного по сравнению с удаленными от них территориями. Максимальное число дней с градом за год на большей части территории Полесья составляет 4–6 дней. Территориальное распределение этой характеристики имеет значительную изменчивость. Выделяются отдельные ячейки, где максимальное число дней с градом за год менее 4: район вокруг г. Ровно, районы Киевского и Черниговского Полесья, которые находятся возле Киевского водохранилища. Также выделяются ячейки с максимальным числом дней с градом за год более 6: район г. Житомира; район, прилегающий к г. Киеву; Новгород-Северское Полесье. Чаще всего крупный град наблюдается в летний сезон, на май-август приходится 90 %, а на июнь-июль 60 % случаев выпадения. Вероятность выпадения града за год в целом составляет на большей части Полесья 70–80 % лет. Северные части Волынского, Центрального и Черниговского Полесья характеризуются вероятностью выпадения града за год меньше 70 % лет. Юго-западная часть Западного Полесья и юго-восточная часть Центрального Полесья (линия Житомир – Киев) имеют вероятность выпадения града за год более 80 %. Наибольшая вероятность выпадения града за отдельные месяцы приходится на май (28–47 %) и июнь (27–37 %). В среднем за сезон бывает до 5 периодов с градом, при этом наибольшее их количество приходится на май-июль. В 55 % случаев град наблюдается один день. В суточном ходе максимум повторяемости града увеличивается с максимумом развития конвекции, то есть в 40 % случаев град выпадает в 15–18 ч. Повторяемость продолжительности выпадения града до 15 минут составляет 70–80 %, а повторяемость града, который длится от 15 до 30 мин, составляет 15 %.

Выпадение града по площади характеризуется неравномерностью и пятнистостью. Пятна имеют разную форму. Их площадь изменяется от нескольких десятков квадратных километров до нескольких сотен. Град может выпасть в виде полос шириной от сотни метров до десятка километров. Но

в целом град охватывает небольшие площади, на расстоянии 50–100 км коэффициент корреляции равен 0,1–0,3. Град сопровождается ливнями и грозами с одинаковой частотой 40–45%. Он сопровождается шквалами в 7%. На один случай выпадения града в среднем приходится 10–15 гроз. В 35–45% случаев выпадения града наблюдается ветер западных и северо-западных румбов. В 50% случаев град выпадает при температуре воздуха у земной поверхности 18–22 °С. При температуре воздуха ниже 60 °С град наблюдается в 15%, а при температуре выше 30 °С – в 8% случаев. По особенностям распределения града, его повторяемости, продолжительности территория Полесья относится ко второму району, где град отмечается в 50–70% лет, а крупный град бывает более чем в 50% случаев его выпадения.

Шквал – это опасное конвективное атмосферное явление. Он представляет собой вихрь с горизонтальной осью, который проявляется в кратковременном резком увеличении скорости ветра, сопровождающемся изменением его направления. Шквал связан с зонами активной конвекции. Он образуется в результате сложного взаимодействия процессов в макро-, мезо- и микромасштабах. К макропроцессам относятся атмосферные фронты. Возникновение шквала на 78% связано с атмосферными фронтами, а в остальных случаях – с внутримассовыми процессами. Среди фронтов существенно преобладают холодные, которые в основном являются малоподвижными, квазимеридианально ориентированными, расположенными в барических котловинах, которые постепенно движутся с запада на восток. К мезопроцессам образования шквалов относят конкретные участки атмосферных фронтов, линии неустойчивости, конвективные комплексы. На атмосферных фронтах образуются волны, которые способствуют развитию конвекции и, как следствие, образованию шквала. К микропроцессам образования шквала относят параметры отдельных частей конвективных облаков, фазовое состояние облачных частиц. По скорости ветра шквалы разделяют на слабые – до 15 м/с; умеренные – 15–24 м/с; сильные – более 24 м/с.

Шквал – это локальное атмосферное явление, поэтому отдельной метеорологической станцией он фиксируется достаточно редко. Шквал чаще (примерно в 70% случаев) фиксируется одним пунктом и только у 8% отмечается пятью и более пунктами, так как зона шквала обычно занимает незначительную площадь. Повторяемость шквалов характеризуется четко выраженным годовым ходом. На данной территории сильные шквалы чаще всего наблюдаются в июле. В теплый период года максимум повторяемости шквалов приходится на 15–18 ч (36%). Шквалы в 12–15 и 18–21 ч имеют повторяемость соответственно 20 и 23%. В холодный период суточный ход подобен ходу в теплый период, но он значительно сглажен за счет повышения повторяемости шквала в первую половину суток. Около 50% всех шквалов имеют продолжительность не более 0,1 ч и 4% – более 0,5 ч. В теплый период года при шквалах наблюдается резкое изменение метеорологических величин. Падение давления перед шквалом характерно в 80% случаев для умеренных и сильных шквалов и в 70% – для слабых. Давление воздуха после сильных и умеренных шквалов растет в 60% случаев, а после слабых – в 70%. На данной территории шквалы могут возникать в широком диапазоне температуры воздуха. Наибольшая повторяемость приходится на 20–25 °С. Шквалы сопровождаются одновременно другими атмосферными явлениями конвективного происхождения, чаще ливневым дождем и грозой. Повторяемость этих явлений соответственно составляет: сильный шквал – 64%; умеренный – 62%; слабый – 57%. Сильные шквалы характеризуются повышенной повторяемостью комбинации ливневого дождя, грозы и града – 22%. Слабые шквалы также характеризуются повышенной повторяемостью ливневого дождя – 22%. Локальность шквалов не позволяет выявить четких пространственных закономерностей в их распространении. Но при этом на территории Полесья наиболее шквалоопасной является Волынская область (в среднем от 2 до 4 шквалов за год), а также Житомирская, Киевская и Черниговская области. На остальной территории Полесья количество шквалов меньше двух в год.

Смерчи относятся к наиболее опасным атмосферным явлениям. Смерч – это вихрь сложной структуры с вертикальной (наклоненной или согнутой) осью, который опускается от нижней границы мощных кучево-дождевых облаков к поверхности земли в виде белесой или темной воронки, которая, в свою очередь, вращается. Он характеризуется значительными скоростями ветра, в центральной части мощными нисходящими и восходящими потоками на периферии воронки, значительной разницей атмосферного давления от центра к периферии воронки. Смерчи перемещаются по направлению ветра, сопровождаются грозой, ливнем, градом. Развитие смерчей связано с атмосферными фронтами, которые формируются при адвекции теплого и влажного субтропического воздуха на фоне вторжения более холодных арктических и умеренных воздушных масс. При этом образуются мощные кучево-дождевые облака, которые простираются через всю тропосферу в нижней части стратосферы. Смерчеопасная ситуация в 85% случаев связана с конвективными облаками, высота которых достига-

ет 13 км и более, в 90 % – с кучево-дождевыми облаками, которые имеют горизонтальные размеры 200–400 км и значительные вертикальные градиенты скорости ветра на фронтах, способствующие образованию вихрей [24]. Вероятность возникновения смерчей на территории Полесья равна 65 %. Чаще всего смерчи происходят в июне-июле (по 34 %), в мае и августе их повторяемость соответственно составляет 12 и 13%. Суточный ход повторяемости смерча показывает, что они наиболее вероятны между 15 и 18 ч (42,4 %) и 12 и 15 ч (27,1 %). Смерч чаще (77 %) продолжается до 0,2 ч. Территория Полесья характеризуется значительной вероятностью смерчеопасных ситуаций. Для Киевской и Волынской областей вероятность возникновения смерча составляет 1 раз в 7 лет. На территории Ровенской, Житомирской, Черниговской, Сумской областей смерчи наблюдаются 1 раз в 20 лет.

Пылевая буря – это опасное атмосферное явление, которое характеризуется большим количеством пыли (песка), сильным ветром и сопровождается значительным ухудшением видимости. Она возникает при засушливой погоде и усилении ветра до значений, при которых происходит выдувание с подстилающей поверхности частиц пыли (песка). На образование пылевой бури влияют структура, уровень увлажнения почвы, наличие растительности и рельеф. Сильная (стихийная) пылевая буря характеризуется скоростью ветра 15 м/с и более и продолжительностью 12 часов и более. Пылевая буря в подавляющем большинстве случаев возникает на небольших площадях, в переходных штормовых зонах, где есть большие барические и термические градиенты. Эти зоны возникают благодаря перемещению антициклонов с северо-запада и севера Европы на юго-восток при одновременной активизации циклонов над Черным морем и Малой Азией. Кроме того, пылевые бури наблюдаются при прохождении с запада на восток холодных фронтов, когда в тыловой части циклона за холодным фронтом устанавливаются большие барические градиенты и происходит шквальное усиление ветра. На территории Полесья она имеет локальный характер и наблюдается в пределах двух-трех районов. Пыльные бури возникают не ежегодно. На территории Полесья они возможны в конце весны и в начале лета. Этому способствует раннее схождение снежного покрова, длительное бездождие, усиление ветра, отсутствие сплошного покрова сельскохозяйственных растений и их слабая корневая система. Территория Полесья не относится к трем ячейкам пылевых бурь. Здесь они отмечаются один раз в 10 лет. При этом повторяемость их увеличивается на водоразделах рек. В поймах рек, долинах и котловинах пылевых бурь немного из-за задернованности почвы и меньшей скорости ветра. Вероятность различного числа дней с пылевой бурей в отдельные месяцы с апреля по август растет на территории Полесья с запада на восток. Повторяемость числа дней с пылевой бурей может достигать за это время 20–30 %. Средняя продолжительность одной пылевой бури на Полесье – около 1 ч. Наибольшее число дней с пылевой бурей за год на данной территории не превышает 5 дней. Повторяемость сильных пылевых бурь на территории Полесья не превышает 5 %, то есть они могут быть один раз в 20 лет. По характеру распределения, повторяемости, интенсивности, масштабу охвата, особенностям синоптических процессов в Украине территория Полесья находится во втором районе (Киевская, Черниговская, Сумская области), где пыльные бури наблюдаются один раз в 10 лет и имеют локальный характер, и в третьем районе (Волынская, Ровенская, Житомирская области), где пыльные бури бывают крайне редко.

В вегетационный период определенные сочетания агроклиматических условий могут вызывать неблагоприятные атмосферные явления, из которых наибольший вред вызывают засушливые явления. Они обусловлены сложным комплексом геофизических и биофизических процессов, проходящих на некоторой ограниченной территории в течение достаточно длительного времени. Основными составляющими засушливых явлений является бездождие, суховей, атмосферная засуха, почвенная засуха. Длительное бездождие предвещает засухи. Часто в эти периоды наблюдаются суховеи. Сочетание сухого ветра в течение нескольких суток приводит к атмосферной засухе. Грунтовая засуха обусловлена определенной длительностью атмосферной засухи. Сочетание атмосферной и почвенной засухи определяет общую засуху.

Бездождевой период (бездождие) – это интервал времени, в котором в течение 10 и более дней осадки не наблюдаются или их суточное количество не превышает 1 мм. Бездождевой период продолжительностью более 10 дней считается засушливым потому, что состояние атмосферы начинает негативно влиять на растения, которые очень чувствительны к обезвоживанию во время цветения, формирования зерна и колошения. Бездождия связаны с постоянными антициклонами, которые распространяются на Центральную и Южную Украину. Бездождевые периоды обусловлены антициклонами, перемещающимися с севера (бездождевые периоды северного происхождения). Бездождевые периоды западного происхождения связаны с антициклонами, движущимися с запада, и формируются в воздухе умеренных широт. Бездождевые периоды западного происхождения имеют среднюю продолжительность до 15–16 дней, а северного – до 17–25 дней. В теплую часть года количество не-

прерывных засушливых периодов в Полесье может составлять 3–4. Их изменчивость составляет 0,35–0,39. За отдельные годы наибольшее количество засушливых периодов может достигать 8. Средняя продолжительность отдельного засушливого периода в Полесье составляет 9,3–9,7 дня при изменчивости 0,87–0,89. Засушливые периоды длятся до 10 дней от 65 до 68 раз за 100 лет (65–68 %). Засушливые периоды продолжительностью 11–20 дней совпадают с атмосферной засухой и имеют повторяемость 23–27 %. Засушливые периоды продолжительностью 21–30 дней предшествуют образованию почвенной засухи и имеют повторяемость 4–5 %. Засушливые периоды продолжительностью 31–40 дней обуславливают грунтовую засуху и имеют повторяемость 1–3 %. Засушливые периоды продолжительностью 41–50 дней бывают с повторяемостью до 2 %. В Полесье засушливые периоды могут достигать 51–60 дней. В теплое время года засушливые периоды по продолжительности распределяются примерно равномерно на апрель – июль и август – октябрь.

Суховей – это состояние атмосферы, при котором наблюдается медленный (скорость 3–5 м/с) перенос сухого, чрезмерно теплого воздуха (относительная влажность воздуха 30 % и менее, а температура – 25 °С и выше). Атмосферные процессы, которые приводят к суховеям, аналогичны процессам образования бездождя. Более половины суховеев (54 %) формируются в воздушных массах, поступающих с севера или северо-запада. В 20 % случаев суховей сформированы воздушными массами, которые перемещаются с Атлантики. Примерно 12 % суховеев обусловлены воздушными массами из Средней Азии и Иранского нагорья. За счет внутренней трансформации воздушных масс в малоподвижных антициклонах над Восточной Европой формируется до 14 % суховеев. Количественно суховей чаще оценивают по биофизическим критериям суховея О. О. Цубербиллер. Распределение средней продолжительности суховейных периодов по этому критерию [25] показывает, что в Полесье общая продолжительность периода с суховеями постепенно увеличивается с запада на восток, от 11–12 до 25–30 дней. Всего за период активной вегетации в Полесье в среднем каждую декаду число дней с суховеем может составлять до 1, иногда до 2 дней. В Полесье повторяемость суховеев составляет: апрель – 1 раз в 5 лет, май – от 3 до 5 раз, июнь – от 2 до 6, июль – 5–6 раз за 10 лет, август и первая декада сентября – от 6 до 4 раз на 100 лет.

Атмосферная засуха в местности с умеренным климатом – это состояние атмосферы с длительным бездождем, существенным уменьшением осадков, которое сопровождается повышенной инсоляцией и высокой температурой воздуха. В 70 % случаев развитие атмосферной засухи происходит вследствие нарушения зонального переноса, блокируется высокими малоподвижными антициклонами и гребнями. Западный перенос воздушных масс приобретает меридианальную составляющую в результате воздействия интенсивной струи по южной периферии полосы высокого давления, которая вытянута в широтном направлении. С юго-востока и юга континентальный полярный воздух (иногда тропический) продвигается на север. Наиболее полно свойство атмосферной засухи описывает гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК). С помощью ГТК за период активной вегетации определяется степень атмосферной засушливости (степень суровости засухи). Умеренная засуха, когда ГТК равен 0,7–1,0; суровая засуха – ГТК – 0,5–0,7; очень суровая засуха – ГТК – 0,3–0,5. Исследования [1, 4] показали: средняя повторяемость умеренных засух в Западном и Центральном Полесье составила 20 %, а в Восточном Полесье – 25 %. Соответствующие колебания повторяемости лежат в пределах: Западное Полесье (17–23 %); Центральное Полесье (15–25 %); Восточное Полесье (23–27 %). Суровая засуха в Западном Полесье имеет среднюю повторяемость 7 %, в Центральном Полесье достигает 8 %, а в Восточном Полесье – 9 %. Очень суровая засуха в Западном и Центральном Полесье бывает со средней повторяемостью в 2 %, а в Восточном Полесье – в 3 % лет.

Грунтовая засуха наблюдается на сельскохозяйственных полях в естественных условиях, как без растений, так и с растительным покровом. В первом случае критерии почвенной засухи определяются по наименьшей влагоемкости соответствующего слоя почвы. Во втором случае (при наличии агрофона) критерии почвенной засухи определяют по соответствию запасов продуктивной влаги в почве, оптимальному увлажнению почвы для фазы развития сельскохозяйственной культуры с требующимся водопотреблением. Грунтовая засуха может быть в пахотном слое (0–20 см), в слое сосредоточения корневой системы растений (0–50 см), в метровом слое (0–100 см). При наличии агрофона за начало умеренной почвенной засухи приняты запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на уровне 85 % оптимального увлажнения для соответствующей фазы развития определенной сельскохозяйственной культуры. Суровая засуха определяется при 65 % этого увлажнения, а очень суровая – 35 %. Для озимой пшеницы, ярового ячменя фазой наибольшего водопотребления является колошения (соответственно, в среднем – первая и вторая декады июня). Повторяемость почвенной засухи в эту фазу для озимой пшеницы в Западной и Центральном Полесье составляет 1 раз в 10 лет (10 %), а в Восточном Полесье – 12 %. Для этой же культуры повторяемость суровой засухи составляет соот-

ветственно 6 и 7 %; повторяемость очень суровой почвенной засухи для Полесья составляет 3–4 %. Повторяемость почвенной засухи в период максимального водопотребления ярового ячменя больше, чем озимой пшеницы. Умеренная грунтовая засуха отмечается в Западном и Восточном Полесье в 25 % случаев, а в Центральном Полесье – в 32 %. Повторяемость суровой почвенной засухи под яровым ячменем составляет соответственно 15 и 16 %, а в Центральном Полесье – 20 %. Очень суровая грунтовая засуха наблюдается в Западном и Центральном Полесье в 7 % случаев, а ее повторяемость в Восточном Полесье равна 5 %. Грунтовая засуха может образоваться и на полях, не занятых посевами (зять, поле после предшественника). На таких агрофонах умеренная засуха перед посевом определяется увлажнением слоя почвы 0–20 см на уровне 55 % от наименьшей влагоемкости, 0–50 см – 50 %, 0–100 см – 40 %. Весной эти значения увеличиваются на 20–30 % в зависимости от слоя почвы. На зяби весной в Полесье может быть лишь умеренная грунтовая засуха (Западное Полесье – до 4 %, Центральное Полесье – до 3 %). На непаровых полях после предшественников накануне сева (третья декада августа) повторяемость умеренной засухи составляет: Западное Полесье – 17 %, Центральное Полесье – 18 %, Восточное Полесье – 28 %. Суровая грунтовая засуха для указанных условий может быть в Западном Полесье в 6 % случаев; в Центральном Полесье – в 8 %; в Восточном Полесье – в 17 %. Повторяемость очень суровой засухи составляет соответственно 1, 2 и 4 % лет.

Таким образом, рассмотрев атмосферные явления на территории Полесья, можно сделать несколько выводов. Территориальное деление числа дней с туманом здесь характеризуется значительной изменчивостью, при этом меридианальные изменения наблюдаются в Западном Полесье, широтные – в Центральном Полесье, а переходные от меридианальных к широтным – в Восточном Полесье.

Территория Полесья относится к районам с низкой вероятностью опасной гололедицы. В Центральном Полесье и части Западного Полесья, которая к нему примыкает, она наблюдается один раз в десять лет, а на других территориях – один раз в 20 лет. Тенденция к уменьшению числа дней с гололедом доминирует в последние годы. Среднее число дней с изморозью увеличивается от западной части Полесья (5–15 дней) к восточной (17–20 дней). За последние годы не выявлено изменений числа дней с изморозью.

Основная часть территории Полесья относится к районам с меньшей интенсивностью грозовой деятельности. В среднем за год здесь наблюдается 27–30 дней с грозой. Лишь в северо-западной и северо-восточной части Полесья их количество превышает 30 дней. Территориальное распределение суммарной продолжительности гроз характеризуется пятнистостью: есть ячейки с продолжительностью более 80 ч и менее 60 ч в год. За последние десятилетия среднее число дней с грозой не изменилось.

На большей части Полесья максимальное число дней с градом за год составляет 4–6 дней, хотя есть отдельные очаги, где эта характеристика меньше 4 и больше 6 дней. Вероятность выпадения града составляет в среднем 70–80 %, при этом северная часть Полесья характеризуется вероятностью меньше 70 %, а северная часть – больше 80 % лет. Наиболее шквалоопасными можно считать Волинское, Центральное и Черниговское Полесье, где в среднем наблюдается 2–4 шквала за год. Территория Полесья характеризуется значительной вероятностью смерчеопасных ситуаций. Наибольшая она в Волинском и Киевском Полесье (1 раз в 7 лет), а в других частях – 1 раз в 20 лет. Повторяемость пыльных бурь самая большая в Киевском и Восточном Полесье.

В вегетационный период на территории Полесья наблюдаются засушливые явления. Почти 2/3 бездождевых периодов имеют продолжительность 10 дней. Длительность периода с суховеями возрастает с запада на восток, от 11–12 до 25–30 дней. Наиболее часто могут повторяться умеренные атмосферные засухи, от 20 % в Западном и Центральном Полесье до 25 % в Восточном Полесье. Повторяемость различных градаций почвенной засухи под сельскохозяйственными культурами крупнейшая в Центральном Полесье. Чаше грунтовая засуха в непаровых полях, занятых предшественниками, может возникать осенью. Наибольшую повторяемость различных градаций таких засух имеет Восточное Полесье.

Литература к разделу

1. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – К.: Вид-ва Раєвського, 2003. – 343 с.
2. Національний атлас України. – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
3. Колосков П. И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 328 с.
4. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 531 с.
5. Природа Украинской ССР. Т.1 : Клімат / В. Н. Бабіченко, М. Б. Барабаш [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1984. – 232 с.

6. Клімат України у минулому і майбутньому / за ред. М. І. Кульбіді, М. Б. Барабаш. – К.: Сталь, 2009. – 234 с.
7. Винников К. Я. Чувствительность климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 234 с.
8. Барабаш М. Б., Гребенюк Н. П. Зміни клімату України на початку ХХІ ст. // Ювілейна міжнародна конференція, присвячена 70-річчю утворення Одеського державного екологічного університету, 2002. : тез. доп. – Одеса, 2002. – С. 64–65.
9. Бабіченко В. М., Ніколаєва Н. В., Гущина Л. М. Зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та початку ХХІ століття // Український географічний журнал. – 2007. – № 4. – С. 3–12.
10. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). – К.: Ніка - Центр, 2010. – 316 с.
11. Струтинська В. М., Гребінь В. В. Сучасні зміни елементів водно-теплового балансу в басейні Дніпра як передумова змін термічного і льодового режиму річок // Вісник Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – Сер. Географія. – 2007. – № 54. – С. 24–26.
12. Гребінь В. В. Оцінка сучасних змін стоку річок басейну Дніпра (в межах України) // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – С. 108–113.
13. Галущенко Н. Г. Гидрологические и водно-балансовые расчеты. – К.: Вища шк., 1987. – 248 с.
14. Глобальне потепління і клімат України: регіональні, екологічні та соціально-економічні аспекти / В. М. Волощук, С. Г. Юойченко, С. М. Степаненко [та ін.]. – К.: ЗПЦ «Київський університет», 2002. – 117 с.
15. Бойченко С. Г., Волощук В. М. Трансформація зонального кліматического поля температури приземного воздуха при глобальных потеплениях // Геофизический журнал. – 2005. – № 3. – С. 444–453.
16. Логвинов К. Т., Барабаш М. Б. Исследование периодических изменений температуры воздуха и осадков в Украине // Тр. УкрНИИ Госкомгидромет. – 1987. – Вип. 224. – С. 71–76.
17. Вилькенс А. А., Дмитренко В. П., Перелет Н. Д. Об особенностях межгодовой динамики условий увлажнения на территории Украины в прошлом и будущем // Тр. УкрНИИ Госкомгидромет. – 1983. – Вип. 205. – С. 53–63.
18. Галік О. І., Будз О. П. Статистичний аналіз динаміки ґрунтових вологозапасів за даними агрометеорологічних спостережень // Актуальні проблеми генетичного, географічного, історичного та екологічного ґрунтознавства : збірник наукових праць міжнародної наукової конференції (Львів, 19–21 вересня 2013 р.). – Львів: Вид. цент. ЛНУ ім. Ів. Франка, 2013. – Вип. 4. – С. 155–165.
19. Шерешевський А. І., Синицька Л. К. Оцінка зміни випаровування з водної поверхні на території України // Наук. праці УкрНДІГМІ. – 2000. – Вип. 248. – С. 67–76.
20. Мартазинова В. Ф., Иванова Е. К., Чайка Д. Ю. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине // Український географічний журнал. – 2006. – Т. 28. – № 1. – С. 51–60.
21. Мартазинова В. Ф., Иванова Е. К., Чайка Д. Ю. Изменения атмосферной циркуляции в северном полушарии в течении периода глобального потепления в XX веке // Український географічний журнал. – 2007. – Т. 28. – № 3. – С. 10–20.
22. Свердлик Т. А. Эволюция крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха Северного полушария во второй половине современного глобального потепления климата // Тр. УкрНИГМИ. – 1999. – Вип. 247. – С. 63–75.
23. Галік О. І. Часова структура річних сум атмосферних опадів в межах Прип'ятсько-Волинської моренно-зандрової рівнини та Волинської денудатійної височини // Наук. вісн. Чернівецького університету. – Географія. – 2015. – Вип. 724–725. – С. 11–17.
24. Ромов А. И. Прогнозы образования смерчей и рекомендации к анализу и прогнозу смерчопасных ситуаций // Тр. Укр. НИГМИ. – 1988. – Вип. 233. – С. 23–29.
25. Дмитренко В. П., Строкач Н. К. Оценка влияния длительности неблагоприятных и опасных явлений погоды на урожай зерновых культур в основные межфазные периоды развития // Тр. Укр. НИГМИ. – 1992. – Вип. 244. – С. 48–66.
26. Дмитренко В. П. Періодичність та шкодочинність посух // Землеробство в умовах недостатнього зволоження / за ред. В. М. Крутя і О. Г. Тарарико. – К.: Аграрна наука, 2000. – С. 6–9.

Глава 4. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

4.1. Исторические этапы мелиорации земель

Мелиорируемая территория Западного (Волынского) Полесья общей площадью 30,0 тыс. км² как обособленный геоморфологический таксон ограничена из севера государственной границей с Республикой Беларусь, с востока – административной границей с Житомирской областью, с юга – Волынской лессовой возвышенностью и с запада – госграницей с Республикой Польша.

В гидрологическом смысле – это междуречье р. Припять и р. Западный Буг и отдельные части бассейнов средних рек, правых притоков р. Припять, Выживки, Турии, Стохода, Стыри, Горыни со Случом, Львы и Ствиги.

В административном отношении – это северные районы Волынской и Ровенской областей. Корыстолюбивые планы хозяйственников-землевладельцев эпохи развитого феодализма конца XVII столетия оставили редкие воспоминания об осушении отдельных участков болот в пределах лесных массивов, пастбищ и сенокосов. Позже были опубликованы результаты исследований Полесского края Э. И. Эйхвальда в 1830 г., которые относились к обобщенным физико-географическим особенностям и геологическому строению. Впоследствии они стали почвой для дальнейшего научно обоснованного изучения этого региона.

В начале 1873 г. царское правительство сформировало «Западную экспедицию по осушению болот», которую возглавил инженер (позже генерал) И. И. Жилинский. Экспедиция функционировала на протяжении 23 лет (1874–1897), в течение которых была обследована огромная территория современного Полесья, а главное – 11 % которой было охвачено мелиоративными мероприятиями. Одновременно в соответствующем масштабе были составлены топографические карты [6]. Работы выполнялись не только за государственные, но и за средства землевладельцев и лесопромышленников, которые были заинтересованы в повышении производительности пастбищ, сенокосов, лесов, а также создании водных путей для лесосплава.

Экспедиционные работы нередко сопровождалось необоснованными рубками лесов, что способствовало не только их уничтожению, но и раскрытию почвенного покрова и обнажению песчаных образований и активизации эоловых процессов. Переносимый ветром мелкозем осаждался на пахотные плодородные земли, превращая их в негодия.

Политико-экономическое состояние царской России конца XIX – начала XX века изменило потребности рынка, что предопределило спад интереса к расширению осушительных мелиораций в Полесье, и в конце концов в 1897 г. работы Западной экспедиции были прекращены. В комплексе изыскательских работ были предусмотрены геологические исследования и бурение скважин, на фактическом материале которых была составлена геологическая карта Полесья в масштабе 20 верст в дюйме и два геологических профиля.

Собственно, в это время возникли альтернативные суждения относительно проведения осушительных мелиораций в Полесской низменности. Известно, что на отдельных временных этапах развития общества были сторонники и противники идеи тотальных мелиораций в регионе (как свидетельствует наш предварительный анализ, активизация различных мнений относительно мелиораций совпадает во времени с ритмичкой природных явлений – во время эпох повышенной влажности доминировали сторонники мелиорации, а засушливые периоды приносили победу антимилиораторам). Так или иначе, можно утверждать, что в досоветское время мелиоративные мероприятия имели эпизодический характер и выполнялись на сравнительно небольших территориях. Все это отнесено к прошлому [11].

В наше время известно, что одним из путей влияния человека на окружающую природную среду, в частности их природоресурсный потенциал, стала мелиорация (дословно из итальянского – «улучшение»), которая объединяет всевозможные направления влияния человека на окружающую среду с целью улучшения разных ее компонентов, в первую очередь с позиции хозяйственных интересов. В зависимости от направленности различают мелиорации климатические, водные, грунтовые, биологические и другие. Исходя из специфики мелиоративных работ в Полесье, можно утверждать, что наибольшее развитие имеют гидротехнические мелиорации, которые через изменение водного режима непосредственно влияют на состояние и использование земельных ресурсов, что является основанием рассматривать проблемы гидромелиоративного переоснащения территории Западного Полесья.

Охарактеризованная территория, как и другие территории Украинского Полесья, традиционно относятся к зоне чрезмерного увлажнения, если иметь в виду общее преобладание количества атмосферных осадков над испарением, что при благоприятных геолого-геоморфологических условиях

Полесья (незначительные уклоны равнинной поверхности с многочисленными понижениями и бессточными впадинами, развитие в приповерхностном слое водоупорных глин и суглинков) способствовало заболачиванию территории. В последнее время, главным образом из-за нескольких засушливых лет, обусловленных глобальной ритмичностью природных явлений, а также возрастающей ролью антропогенного влияния на сезонное распределение стока, само понятие об избыточном увлажнении Украинского Полесья воспринимается критически [1]. Территория Западного Полесья сохраняет следы переувлажнения земель (разница между этими категориями состоит в том, что первые характеризуются наличием торфяного горизонта, причем на болотах его мощность превышает 50 см, а другие являются переувлажненными минеральными почвами). Рассматриваемые три разновидности излишне переувлажненных земель создают так называемый мелиоративный фонд, в состав которого включают земли, на которых проведены мелиоративные мероприятия. Следует заметить, что подходы к оценке состава мелиоративного фонда директивно неоднократно изменялись. Этому способствовали объективные изменения требований к водному режиму почв в условиях современного интенсивного земледелия.

Гидромелиоративный фонд Западного Полесья представляет 3722 тыс. км², 32,6 % от общей площади земель этого региона.

Современный период мелиорации Полесья принято отчислять от майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС, на котором была рассмотрена и принята программа «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур». В результате в конце 60-х годов в пределах Западного Полесья началось массовое сооружение осушительных систем, которое часто проводилось без надлежащего уровня проектирования, методом «народной стройки». Подобные мелиоративные мероприятия обусловили необходимость создания специализированных водохозяйственных организаций с мощной материальной базой («Волыньводстрой» и «Полесьеводстрой»).

В свое время И. А. Коротун [11] утверждал, что научное обоснование и проведение гидромелиораций принадлежит единому в Украине специализированному водохозяйственному учебному заведению, которое находится в г. Ровно – Украинскому институту инженеров водного хозяйства, а теперь Национальному университету водного хозяйства и природопользования, который в 2015 г. отмечает 100-летний юбилей. В начале 80-х годов в области была отработана долговременная (до 2000 г.) программа дальнейшего мелиоративного обустройства территории. Однако в реализации этой программы сделаны лишь первые шаги – очередная волна антимиоративных настроений достигала до правительственного уровня, что негативно отразилось на проектном проведении работ, а потом интенсивная перестройка общества, последствия которой сказались на государственно-политическом уровне и обосновали экономические потрясения. Все это в комплексе привело к сворачиванию мелиоративных работ (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Перспективы реконструкции мелиоративных систем, тыс. га

Название области	Мелиоративный фонд	Не подлежит осушению	Осушено на 01.01.1976	План реконструкции, годы		
				1976-1980	1981-1990	1991
Волынская	570	85	255	40	113	382
Ровненская	564	85	281	32	94	445
Всего	1134	170	536	72	207	827

По данным учета, прирост урожая основных культур на мелиорированных землях в сравнении с урожайностью на богарных почвах в Полесском регионе приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Урожайность основных культур на мелиорированных землях

№ п/п	Культуры	Прирост урожайности на осушенных землях в сравнении с минеральными землями, %		
		1966-1970	1971-1975	1978
1	Зерновые, в т. ч. пшеница	150	195	243
		157	191	232
2	Сахарная свекла	141	162	179
3	Лен	91	122	160
4	Картофель	121	156	207
5	Овощи	176	193	221
6	Кормовые корнеплоды	129	168	169

Приведенные данные свидетельствуют о положительном приросте урожайности. Надежная кормовая база обеспечила высокую производительность животноводства. Например, на Сарненской станции среднегодовые надои молока на одну корову составили 4890 кг. На 100 гектаров сельхозгодий выход продукции составил 1920 центнеров молока и 180 ц мяса. Анализ фактических капитальных затрат на мелиоративное строительство окупается с чистым доходом через 9 лет [14].

Осушительные мелиорации болот и заболоченных земель на Западном Полесье охватывает период более двух столетий. Систематизированные исследования и работы начались в 1874 г. «Западной экспедицией», что считается началом прошлого этапа. Сегодняшний период в практике осушительных работ отсчитан от 1966 года – времени имплементации программы мелиоративного строительства.

Будущее будет определяться углубленными исследованиями результатов проведенного тотального осушения болот на территории Украины. Если в прошлом гидромелиорации проводились без особой научной основы, то в нынешний период были внедрены научные разработки методов, объемов и комплексности исследований. Изучение гидрогеологических условий Западного Полесья предопределило очередность и объемы мелиоративных мероприятий на отдельных территориях с применением научно обоснованных методик и обязательным использованием исходных параметров для проектирования строительства систем, которые получены в результате проведенных гидрогеологических и инженерно-геологических съемок масштаба 1:50000.

4.2. Методы исследований для обоснования мелиоративных мероприятий

Необходимо отметить, что мелиоративный бум второй половины 60-х годов XX века стал причиной многих несоответствий при гидромелиоративном строительстве. Анализ просчетов свидетельствует о недостаточном уровне изыскательских и предпроектных работ, что обусловило необходимость разработки целенаправленных проектных решений и методов исследований. Обязательным условием научно обоснованных проектных решений, строительства и успешной эксплуатации мелиоративных систем является углубленное познание природного состояния территории их расположения, особенно гидрогеологических и инженерно-геологических условий [12]. Поэтому Академия наук СССР и Совет Министров СССР поручили Министерству геологии СССР разработать методики и проводить опережающие гидрогеологические и инженерно-геологические съемки для целей мелиорации. Начиная с 1972 г. исследования с комплексной крупномасштабной специализированной съемкой для мелиоративного строительства проводились в соответствии с «Методическим руководством по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства», утвержденным Мингео СССР и Минводхозом СССР в качестве официального документа, обязательного для всех организаций, которые проводили съемочные работы для целей мелиорации. Использование этого документа обязывало проводить исследования по единой методике, внедрять в практику полевых работ новейшие методы исследований. Результаты съемочных работ стали для проектных организаций исходным материалом для обоснования строительства мелиоративных систем и прогноза изменений гидрогеологических и инженерно-геологических условий вследствие влияния мелиорации.

Вместе с тем опыт проведения крупномасштабной съемки на территории Украины обнаружил необходимость уточнений отдельных положений «Методического руководства» 1972 г. с учетом своеобразия природных особенностей отдельных регионов. Поэтому по решению НТР Мингео УССР (протокол № 8 от 16.06.1977) была создана группа специалистов из ведущих геологических организаций Украины, которая в течение двух лет разработала «Методические рекомендации по проведению гидрогеологической и инженерно-геологической съемки для целей мелиорации применительно к природным условиям различных регионов Украины» [12]. В разработке названного документа принимал участие автор настоящей работы. При подготовке территорий для гидромелиоративного строительства в условиях Западного Полесья изучали геологическое строение и гидрогеологические условия зоны активного водообмена (с точностью до 1:50000). По геолого-стратиграфическому принципу были выделены водоносные горизонты и комплексы, а также региональные, местные и локальные водоупорные толщи пород. В широком диапазоне были изложены наземные площадные геофизические исследования. Проводилась оценка сложности геолого-гидрогеологических условий для обоснования объемов буровых и опытных гидрогеологических и инженерно-геологических работ [2]. Определялись и были изучены источники питания грунтовых вод, их взаимосвязь с напорными артезианскими водами, особенности изменения химического состава воды, их гидродинамические параметры и особенности геофильтрационных схем гидрогеологического разреза, инженерно-геологические свойства почв по комплексу показателей для гидротехнического строительства.

Отдельно изучены вопросы изменений окружающей природной среды при гидромелиоративном строительстве. Создавались математические модели фильтрационных процессов. Выполнялось в пределах отдельных частей Западного Полесья районирование территории относительно сложности природных условий. Детально изучались емкостные свойства и водопроницаемость пород зоны аэрации. По отдельной методике проводились ландшафтно-индикационные исследования [15]. В необходимых объемах выполнялось изучение режима и элементов баланса подземных вод, а также исследовались проявления инженерно-геологических процессов и явлений.

4.3. Общие гидрогеологические закономерности

Согласно гидрогеологическому районированию Западное Полесье является составной частью Волыно-Подольского артезианского бассейна. Общие гидрогеологические закономерности региона определяются геолого-структурными особенностями, климатическими и геоморфологическими условиями, а также палеогидрогеологическим развитием.

Моноклинальное залегание домезозойских трещиноватых пород с уклоном на юго-запад, которые разделены водоупорными толщами, а также мощное их перекрытие морскими отложениями верхнего мела обуславливают закономерность распространения и перемещения подземных вод. Приведенные и другие условия в значительной степени определяют особенности водоносных горизонтов и комплексов напорных вод, отличающихся разнообразными гидродинамическими показателями.

Равнинный рельеф, преобладание песчаных отложений в антропогенной толще, относительно значительное количество атмосферных осадков – до 680 мм/год – способствуют формированию в четвертичных образованиях разных по происхождению горизонтов грунтовых вод.

Наиболее изученными в пределах Западного Полесья являются водоносные горизонты верхнемеловых, неоплейстоценовых и голоценовых отложений. Они повсеместно перекрывают водоносные комплексы домезозойских образований, которые отложены под ними и углубляются в западном направлении. Водообеспечение этих комплексов очень своеобразное.

В самой восточной части территории исследований, на междуречье рек Львы – Ствиги верхнемеловой водоносный комплекс залегает на кристаллических породах и коре их выветривания палеопротерозойской эритемы Украинского кристаллического щита. В западном направлении на Стырь-Горынском междуречье верхнемеловая толща залегает на образованиях полесской серии средневерхнего рифея, на глубинах от первых метров до 40 м. Они представлены переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов.

Западнее на Стырь-Стоход-Турийском междуречье мергельно-меловой массив, к которому приурочен водоносный комплекс, подстилается образованиями каниловской серии верхнего венда. В южной части Западного Полесья на широте Ковель-Маневичи верхнемеловая толща отложена на кембрийско-верхнесилурийских образованиях, а на участке от г. Ковеля к Любомлю – на нижнесилурийских отложениях. В самой западной части Полесья, от г. Любомля и к госгранице с Республикой Польша терригенно-мергельная толща мела залегает на аргиллитах, песчаниках и известняках каменноугольной системы, которыми сформирован Львовский палеозойский бассейн [4].

В разрезах верхнесилурийских и, особенно, нижнего кембрия и венда, рядом с водоносными породами значительная роль принадлежит относительно водоупорным отложениям.

По В. М. Шестопалову [96], фильтрационные особенности меловых пород наиболее водонасыщенного на территории Полесья комплекса, которые обусловлены трещинной зоной туронско-маастрихтского стратона. Они проявляются в основном в зонах тектонических нарушений – Медновской, Выжевско-Минской, Маневичско-Могиланской, Горынско-Столинской.

В пределах участков высокого залегания верхнего мела зафиксировано проявление карстово-суффозионного процесса, тяготеющего к зонам интенсивной трещиноватости пород.

На значительных глубинах, то есть от 800 м и глубже, в зоне затрудненного водообмена, происходит формирование минеральных вод разного катионно-анионного состава (скв. 6 – «Шацк»).

Водоносные горизонты и комплексы в пределах изученных глубин отличаются тесной гидравлической взаимосвязью, что подтверждается близким положением статических уровней и схожестью химического состава воды.

Совокупность климатических, геолого-геоморфологических и других факторов обуславливает пополнение грунтовых вод, то есть питание последних происходит за счет атмосферных осадков путем инфильтрации и в меньшей мере благодаря оттоку поверхностных вод в период паводков.

На отдельных участках Полесья, в озерах, где отсутствует зона заиливания, питание грунтовых вод происходит путем перетока напорных вод верхнемелового водоносного комплекса. Отсутствие в разрезе неоплейстоценовых отложений выдержанных по площади и своей мощности водоупорных

толщ обуславливает непосредственную гидравлическую связь водоносных горизонтов с отложениями разного генезиса и возраста.

Общие направления стока грунтовых вод определяются положением Главного Европейского водораздела, который четко выражен на территории Шацкого национального природного парка в направлении Беларуси, меньшую выразительность он имеет в южных районах Западного Полесья. В настоящее время этот водораздел можно считать условным, поскольку на междуречье истоков Припяти и Западного Буга сооружены мелиоративные системы, объединяющие стоки грунтовых вод. Например, на участке сел Омельяне – Свитязь осушительная сеть связывает воды оз. Свитязь с истоками р. Припять.

Подземные воды туронского-маастрихтского водоносного комплекса имеют генерализованный сток в северо-западном направлении к району склонов Волыно-Подольского артезианского бассейна.

Интенсивность подземного стока зависит от гидравлического уклона, который является незначительным – до 0,001, степени дренированности территории гидрографической сетью и расчленением рельефа в совокупности с особенностями климата.

Значительная роль в разгрузке глубоководящих подземных вод палеозойских отложений и образований венда принадлежит тектоническим нарушениям.

Циркуляция подземных вод зависит от глубины раскрытия тектонических нарушений. Это фактор определяет изменчивость миграции подземных вод.

Геолого-структурные особенности территории, условия формирования подземных вод, их циркуляция, а также их химический состав есть основание для выделения в пределах Западного Полесья двух гидродинамических зон – активного и затрудненного водообмена. При выделении этих гидродинамических зон на каждом междуречном пространстве анализируют особенности геолого-гидрохимического разреза по наиболее глубоким скважинам. Так, для крайней западной части Полесья, в пределах Шацкого НПП, при выделении гидродинамических зон в основу положено гидрохимическое состояние вод, установленное по скважине «6 – Шацк», которая функционирует на территории санатория «Лісова пісня». Глубина этой скважины 1252,0 м.

Зона активного водообмена пресных вод ограничивается глубиной 809,0 м, то есть подошвой водоносного горизонта каниловской серии верхнего венда. Ниже, до глубины 1178 м, залегают вулканические образования волинской серии нижнего венда, которые перекрывают песчаники полеской серии рифея, которые являются неводоносными.

Если в зоне активного водообмена циркулируют пресные воды различного катионно-анионного состава, то в зоне затрудненного водообмена распространена рапа хлоридно-натриевого состава с общей минерализацией более 50 г/дм³.

Некоторая пестрота химического состава пресных подземных вод в пределах глубин 10–30 м предопределена локальным повышением в гидрокарбонатных водах содержания хлоридов, сульфатов и азотистых соединений. Это объясняется активным выщелачиванием и растворением ионов кальция, натрия, калия, а также растворением солей в песчано-глинистых породах неоплейстоцена и болотных отложениях голоцена слабоминерализованными водами атмосферного происхождения [5].

Необходимо отметить, что пестрый химический состав проб воды, отобранных с многочисленных шахтных колодцев в селах Западного Полесья, свидетельствует об искусственном антропогенном загрязнении грунтовых вод продуктами распада органических веществ.

4.4. Особенности гидрогеологической стратификации

В основу гидрогеологической стратификации положен фациально-стратиграфический принцип разделения комплексов породной толщи за их возрастом, особенностями распространения, палеоклиматическими условиями формирования и другими признаками, которые обусловили физические особенности и химический состав подземных вод.

В процессе проектирования осушительных систем, особенно для определения типов дренажа грунтовых и поверхностных вод заболоченных территорий обязательным есть использование гидрогеологических параметров соответствующих водоносных горизонтов и комплексов, полученных в процессе опережающих гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях.

Учитывая гидротехнические условия Западного Полесья необходимым стало изучение, соответственно к масштабам исследований, гидрогеологических условий, то есть распространение грунтовых вод и глубже залегающих водоносных горизонтов и комплексов, типов водного питания, условий функционирования болотных массивов, гидрохимический и гидродинамический режимы подземных вод до глубины возможного влияния дренажа; условий подземного стока и элементов водного баланса грунтовых вод и их временного режима [3].

В процессе выполнения данных изысканий проводилась оценка гидрогеолого-мелиоративных условий в пределах осушительных систем с целью выявления изменений естественного, природного состояния в региональном измерении. Опережающие изыскания масштаба 1:50000, как правило, одновременно проводились на значительных площадях – от 1200 до 4000 км². В комплексе работ были предусмотрены вопросы охраны подземных вод от истощения и загрязнения.

Необходимо отметить, что гидрогеолого-мелиоративные особенности территорий планируемого осушения в значительной мере определяются условиями залегания водоупорных пород. Их номенклатура разработана в соответствии с предложениями Всесоюзного совещания современных проблем гидрогеологии [13].

Водоупорные толщи в зависимости от их распространения и положения в гидрогеологическом разрезе разделяются на региональные, местные и локальные.

4.4.1. **Региональные водоупоры** характеризуются повсеместным плоскостным распространением в пределах гидрогеологических структур или их крупных частей (Западное Полесье является значительной частью Волыно-Подольского артезианского бассейна – структуры 1-го порядка).

Для них характерной особенностью является значительная мощность (десятки или сотни метров) водоупорных пород. Например, на территории исследований, особенно западнее г. Ковель Волинской области, мощность мергельной толщи верхнего мела глубже 120 м от дневной поверхности составляет более 100 м; низкие значения коэффициентов фильтрации (10^{-5} – 10^{-7} м/сутки).

Первый от поверхности региональный водоупор разделяет верхнюю и нижнюю гидродинамические зоны: верхняя – зона активного водообмена (зона аэрации, грунтовые воды, межпластовые пресные или слабо минерализованные воды); нижняя зона – затрудненного водообмена (напорные минерализованные воды). В области развития кристаллических докембрийских пород на западных склонах Украинского кристаллического щита границей зоны активного водообмена является глубина подошвы зоны экзогенной трещиноватости.

В вертикальном разрезе региональный водоупорный слой ограничивает область фильтрации, которая принимает участие в формировании гидрогеолого-мелиоративной обстановки.

Местный водоупор имеет ограниченное распространение на площади, в отдельных частях гидрогеологических структур; его развитие иногда прерывается речными долинами. Например, водоупорная толща среднеплейстоценового завадовского климатолита в центральной и северной частях Западного Полесья доминирует на всех пространствах, однако в области продолин Кшна-Припять и Стыр-Словечна и на участках ледникового выпахивания она размыта. Местные водоупорные толщи разделяют в вертикальном разрезе отдельные водоносные горизонты или комплексы. Основным местным водоупором, что определяет гидрогеолого-мелиоративные особенности в пределах территории их развития, является первый от поверхности водоупор, на котором формируются грунтовые воды. Глинистые породы этих водоупоров характеризуются широким диапазоном коэффициентов фильтрации (10^{-5} – 10^{-3} м/сутки).

Локальные водоупоры, приуроченные к зоне аэрации, это преимущественно незначительные по мощности слои в антропогеновой толще, отличающиеся литологическим составом, повышенной плотностью и текстурно-структурными показателями. Они определяют их низкую водопроницаемость в сравнении со смежными толщами пород. Относительно низкие отличия в значениях коэффициентов фильтрации локальных водоупоров и смежных пород – коллекторов на один-два порядка создают условия для образования на локальных водоупорах временных или продолжительных верховодок.

На территории Западного Полесья выделяются такие водоносные горизонты и комплексы:

- слабководоносный горизонт болотных и озерно-болотных отложений голоцена (bH);
- водоносный горизонт аллювиальных отложений голоцена (aH);
- водоносный горизонт аллювиальных отложений первых и вторых надпойменных террас бассейнов Припяти и Западного Буга верхнего неоплейстоцена ($a^1 P_{III}$);
- водоносный горизонт флювиогляциальных отложений среднего неоплейстоцена ($f P_{II} dn_2$);
- водоносный горизонт водноледниковых отложений нижнего неоплейстоцена ($f P_1 ok$);
- водоносный комплекс отложений туронского и маастрихтского ярусов верхнего мела ($K_2 tm$);
- водоносный комплекс в отложениях сеноманского яруса верхнего мела (K_2s);
- водоносный комплекс в отложениях полесской серии среднего – верхнего рифея ($R_{2-3} p\ell$).

Водоупорные горизонты и их комплексы:

- водоупорный комплекс грунтовых вод;
- водоупорный комплекс в озерных и озерно-болотных отложениях (ℓ , $\ell b P_{IV}$);
- водоупорный горизонт в кровле отложений туронского-маастрихтского ярусов верхнего мела ($e K_2$);

➤ водоупорный горизонт в отложениях туронского яруса верхнего мела, глубже 120 м ($K_2 t$).

4.4.2. Особенности водоносных горизонтов и комплексов. Слабоводоносный горизонт болотных и озерно-болотных отложений голоцена (*bH*). Первый от поверхности водоносный горизонт современных болотных и озерно-болотных отложений в пределах Западного Полесья имеет повсеместное распространение на поймах и надпойменных низинах истоков Припяти, прирусловых полос мелких водотоков бассейнов рек Припяти и Западного Буга, в частности долины рек Турия, Стоход, Стырь, Горынь, Случь, Льва и Ствига, а также приозерных заболоченных понижений, впадин в рельефе надпойменной террасы Западного Буга и межгрядовых понижений рельефа в пределах моренно-флювиогляциальной равнины.

Этот слабоводоносный горизонт относительно содержания и циркуляции грунтовых вод имеет, в генерализованном варианте, двухзональное строение. В верхней части разреза озерно-болотных отложений водовмещающими породами являются торфа разной степени разложения, в нижней части – гумусированные пески и супески.

Мощность этого слабоводоносного горизонта преимущественно составляет 1,5–2,5 м, иногда достигает 4,0–5,0 м.

Неконтролируемое во времени техногенное вмешательство в природное состояние заболоченных массивов на полесских пространствах обусловило возникновение и развитие современных экзогенных процессов. Мелиоративные мероприятия различных эпох привели к превращению природных гидрологических стоков в магистральные осушительные каналы. Так, верховье р. Копаевка, бассейн которой расположен в крайней западной части Полесья, в бассейне Западного Буга, канализованы в период строительства в 1962–1964 гг. Копаевской осушительной мелиоративной системы, а канализование р. Рыты проведено еще в 30-х годах XX века. Самым древним мелиоративным сооружением является канал между озерами Свитязь и Луки, длина которого составляет 1,7 км. Он построен еще в 1887 г. и реконструирован, то есть углублен и расширен, в 1966 г.

Гидромелиоративные работы привели к трансформации болотных массивов и изменению водно-физических параметров почв, и в первую очередь торфов.

Преимущественное количество торфяников Полесья принадлежат к низинному типу. По ботаническому составу среди них преобладают осоковые торфа.

В наше время проводится научно обоснованная ренатурализация болотных массивов, в частности торфяников, с целью возвращения их к природному состоянию [13]. Многочисленными исследованиями установлено, что процессы минерализации и гумификации органического вещества торфа повышают степень ее разложения, содействуют росту зольности, плотности почв, уменьшают общую пористость, влагоемкость и водонасыщенность.

Изменение водно-физических свойств торфа происходит в первые годы после его осушения, а в следующие 7–10 лет основные водно-физические показатели медленно изменяются и стабилизируются [4]. Известно, что при осушении торфяного профиля возникают дефляционные процессы, торфяные почвы в незакрепленном состоянии эродированы, что обуславливает процесс опустынивания. Такие видоизменения в торфяниках приводят к нарушению экологического равновесия в экосистемах. Вследствие этого происходит естественное снижение уровней грунтовых вод, пересыхания малых рек, локальные изменения микроклимата, эвтрофикация водоприемников и другие процессы.

Снижение уровня грунтовых вод на территориях, прилегающих к мелиорируемым ландшафтам, обуславливает резкое снижение плодородия почв.

Осушение торфяных болот и нерациональное их использование обуславливает антропогенную минерализацию и сработку почвенного покрова, резкое ухудшение водорегулирующей биосферной функции болотных угодий, пересыхание, взрыхление, вторичное ожелезнение и тому подобное.

Водоносность болотных и озерно-болотных отложений незначительна. Дебиты скважин представляют сотые-тысячные доли $дм^3$ в секунду. Значение коэффициента фильтрации изменяется на 0,05–0,5 м/сутки.

Уровенная поверхность современных грунтовых вод в период межени устанавливается на осушенных массивах на расстоянии от поверхности земли 0,4–0,7 м от дневной поверхности, а на мелиорируемых – на 0,7–1,2 м. Основные гидрогеологические параметры слабоводоносного горизонта в болотных и озерно-болотных отложениях приведены в таблице 4.3.

Режим болотных и озерно-болотных вод соответствует режиму бессточных понижений и формируется на болотных массивах, переувлажненных почвах и других понижениях надпойменных террас речных долин и равнин, которые практически не дренированы. Он зависит от климатических факторов. Значительное влияние на режим болотных массивов в долине р. Припять имеет собственный режим реки.

Питание грунтовых вод в озерно-болотных отложениях осуществляется за счет атмосферных осадков, поверхностных вод, а также за счет перетока напорных вод верхнемелового водоносного комплекса. В период паводков уровни вод в торфяниках удерживаются близко от дневной поверхности, а в поймах рек находятся на 0,1–0,2 м выше. В период летней межени они снижаются до 0,7 м. Глубже, вплоть до 1,5 м, они опускаются на отдельных участках, которые дренируются мелиоративными каналами. Разгрузка вод этого водоносного горизонта осуществляется в ближайшие дрены, а также испарением.

Таблица 4.3

Основные гидрогеологические параметры слабоводоносного горизонта болотных и озерно-болотных отложений

№ п/п	Водоносная порода	Средние значения		
		дебит, л/с	коэффициент фильтрации, м/сутки	коэффициент водопроницаемости, м ² /сутки
1	Торф слаборазложившийся	0,8	1,93	2,1
2	Торф разложившийся	0,02	0,01	0,03
3	Песок мелкий	0,6	2,0	3,1
4	Песок разной зернистости	2,1	5,1	6,5

По физическим свойствам болотные и озерно-болотные воды желтовато-бурые из-за повышенного содержания оксидов железа. Они имеют неприятный вкус и болотный запах. Эти воды отличаются малой минерализацией (0,2–0,4 г/дм³) и значительной пестротой химического состава, по большей части одновременно с гидрокарбонатными широкое распространение имеют сульфатные и хлоридные воды. Величина водородного показателя (рН) составляет 5,0–6,5 единицы, что подчеркивает их кислотность. В водах заболоченных территорий в больших количествах содержатся продукты органического распада – аммиак, нитраты и нитриты, что исключает возможность их использования в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Водоносный горизонт аллювиальных отложений голоцена (аН) приурочен к отложениям пойм малых рек. У верховьях истоков притоков Припяти современного аллювия нет.

Перстративный аллювий развит повсеместно в сформированных долинах правых притоков и перекрывается болотными отложениями в пределах тыловых швов. Коллекторами грунтовых вод являются пески различной зернистости, легкие супеси и торф средней степени разложения. Мощность водоносного горизонта не превышает 5–6 м.

В процессе проведения специализированных работ по гидрогеологическому и инженерно-геологическому изучению водоносного горизонта в современном аллювии нами проведено 9 экспресс-откачек из различных водовмещающих пород (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Основные гидрогеологические параметры водоносного горизонта аллювиальных отложений поймы р. Западный Буг

№ п/п	Водоносная порода	Средние значения		
		дебит, л/с	коэффициент фильтрации, м/сутки	коэффициент водопроницаемости, м ² /сутки
1	Торф слаборазложившийся	0,7	1,1	1,32
2	Песок мелкий	0,8	1,2	3,2
3	Песок разной зернистости	1,2	2,8	7,4
4	Супесь оторфованные	0,18	0,09	1,3

В связи с отсутствием выдержанных водоупоров установлена тесная гидравлическая связь между аллювиальными отложениями поймы р. Западный Буг и водоносными горизонтами подстилающих пород.

Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и вод поверхностного стока, а также прилива воды из русел при паводках. Частично питание связано с приливом вод из надпойменной террасы. Отток грунтовых вод из отложений заводей происходит в сторону русел, а также в водоносные горизонты, которые залегают ниже их.

Водообогащение водоносного горизонта современного аллювия растет при условии отсутствия в мергельно-меловой толще зоны кольятации, которая обеспечивает непосредственную связь напорных вод с грунтовыми.

Уровни грунтовых вод устанавливаются по большей части на глубинах 0,2–1,0 м. Во время паводка грунтовые воды заводей поднимаются до уровня дневной поверхности, а то и выше.

Режим колебания уровня водоносного горизонта формируется под воздействием изменения уровня воды в реке. Он отмечается весенними и летними паводками и летне-осенними меженными периодами. Амплитуда колебания уровня воды между ними представляет 0,9–1,5 м.

Формирование состава грунтовых вод в аллювиальной толще в условиях интенсивного водообмена и промытости песков определяет низкую минерализацию и чаще всего гидрокарбонатный, кальциево-магнийевый состав. Общая минерализация вод аллювиального горизонта преимущественно представляет 0,3–0,5 г/дм³, общая твердость не превышает 0,004–0,006 моль/дм³. На отдельных участках пойм Горыни и Стыру минерализация вод растет до 0,9–1,0 г/дм³ за счет увеличения содержания хлоридов, нитратов и сульфатов. Это прослеживается в пределах населенных пунктов, где существуют перманентные сбросы загрязняющих

Водоносный горизонт аллювиальных отложений неоплейстоцена первых и вторых надпойменных террас (а1 РIII). В современном рельефе правобережная часть надпойменной террасы Западного Буга выражена в виде полосы средней шириной около 4,0 км, вытянутой в северном направлении от с. Адамчуки к с. Кошары, которая находится на польско-украинской границе южнее западнее оз. Пулемецкого.

Первая надпойменная терраса Припяти картируется в виде неширокой (до 0,2 км) полосы на широте с. Положево. Вниз по течению левобережная часть террасы расширяется, наследуя средне-четвертичную водную артерию Кшна-Припять, на широте г. Ратно – оз. Турское ширина террасы достигает до 4 км. На правобережье терраса Горыни окаймляет моренные холмы и гряды в виде неширокой, до 0,5 км, полосы, где в приустьевой части р. Выжевки сливается в общую первую террасу.

Первая надпойменная терраса р. Турия начала формироваться в районе г. Турыйск в виде неширокой полосы вдоль субмеридиального устремления ее русла и поймы. В низовьях долина Турии сливается с долиной Припяти (с. Хотешов), формируя общую террасу.

Первая надпойменная терраса р. Стоход, истоки которой находятся на северном склоне Волынской лессовой возвышенности, сформировалась на участке перехода рельефа возвышенности в полесскую низменность, ниже на широте сел Мильск-Сокол верхнеантропогенная долина Стохода сливалась с долиной Стыру, образуя прадолину Стыр-Словечна. В современном рельефе южной части Западного Полесья междуречье Стоход-Стыр, ширина которого не превышает 8 км представляет единственную первую надпойменную террасу, общее левобережье которой достигает склонов Любомль-Столинской моренной гряды. Эрозионно вскрытые верхнемеловые цоколи, которые усложнены конечно-моренными образованиями, каждая из рек прокладывает свою долину в северном устремлении к долине Припяти. На ориентировочной широте г. Любешив, а именно в пределах Припятской низменности, они сливаются в единую водную систему.

Первая надпойменная терраса Горыни в полесской части ее бассейна сформирована в районе с. Ремчеци, то есть на участке обхода с востока Любомль-Столинской моренной гряды. Здесь она сливается с террасой р. Случ и вниз по течению к госгранице с Республикой Беларусь формирует общую террасу.

Реки Льва и Ствига надпойменных террас не сформировали. Нашими исследованиями [3] установлено, что первая и при наличии вторая надпойменные террасы формируют общий водоносный горизонт.

В современном рельефе Западного Полесья водоносные отложения вторых террас имеют фрагментарное развитие. На Турия-Стоходском междуречье обобщенная терраса Припяти и ее левых притоков имеет южный предел развития по широте г. Каминь-Каширский. В пределах Стоход-Стырского междуречья аллювиальные отложения обобщенной террасы распространены к району с. Великие Телковичи. Литологически водоносный горизонт аллювиальных отложений формируют мелко-среднезернистые пески, которые хорошо отсортированы и промыты. Подстилается аллювиальный горизонт среднеплейстоценовыми флювиогляциальными отложениями, а их воды находятся в тесной взаимосвязи. Средняя мощность водоносного горизонта аллювиальных отложений достигает 7,5 м.

Уровни грунтовых вод, которые циркулируют в аллювиальных песках, устанавливаются на глубинах от 2,0 м, на участках мелиорируемых заболачиваний, до 5,0 м на приводораздельных участках. По материалам многочисленных (43 опыта) гидрогеологических откачек, осуществленных при выполнении авторами специализированных исследований [3], определены основные параметры этого водоносного горизонта аллювиальных отложений надпойменных террас правых притоков Припяти.

Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а частично из-за перетекания залегающих ниже напорных вод. Разгрузка вод происходит в аллювиальные отложения пойм.

Водоносность отложений незначительна. Так, дебиты скважин представляют 0,14–5,4 дм³/с при снижениях уровней зеркала воды на 2,4–4,7 м. Коэффициенты фильтрации песков изменяются от 0,6 до 9,0 м/сутки.

Таблица 4.5

Основные параметры гидрогеологии водоносного горизонта аллювиальных отложений первой и второй надпойменных террас верхнего неоплейстоцена (а¹ Р²_{III})

Водоносная порода	Средние значения						
	коэффициент фильтрации, м/сутки		коэффициент водопроницаемости, м ² /сутки		дебит, л/с	снижение уровня зеркала вод, м	количество опытов
	от	до	от	до			
Супесь легкая	0,01	0,13	0,27	3,8	0,14	4,3	8
Песок мелкозернистый	0,6	1,9	0,83	4,1	0,2	2,4	25
Песок средней зернистости	2,30	4,5	7,4	12,5	1,6	3,0	7
Песок крупнозернистый	6,7	9,0	22,5	44,7	5,4	4,7	3

По химическому составу воды верхнеплейстоценовых отложений являются гидрокарбонатно-кальциевыми с минерализацией 0,5–0,8 г/дм³. Они нейтральны, нередко загрязнены нитратами и органическими веществами. На участках загрязнения, в пределах сельских населенных пунктов, фиксируется повышенная минерализация и твердость вод.

Грунтовые воды этого горизонта используются населением для хозяйственно-питьевого водоснабжения и формируют мелиоративный фонд Западного Полесья.

Водоносный горизонт флювиогляциальных отложений среднего неоплейстоцена (f PII dn²). На территории Западного Полесья водоносный горизонт среднего неоплейстоцена имеет повсеместное распространение и практически является первым от дневной поверхности. Фрагментарно он перекрывается водоносным горизонтом, сформированным болотными и озерно-болотными отложениями голоцена. Подстилается среднеплейстоценовый горизонт водоупорными озерными и озерно-ледниковыми отложениями днепровского климатолита, что распространены в пределах погребенных прадолин Кшна-Припять и Стырь-Словечна и меловых цоколей Любомль-Столинской гряды, где он залегает на верхнемеловом водоносном горизонте. На отдельных участках конечно-моренных гряд, а также озах, камах и отложениях эоловых образований грунтовые воды среднего неоплейстоцена сдренированы.

Коллекторами миграции грунтовых вод на площади распространения этого водоносного горизонта являются полевошпатово-кварцевые пески разной зернистости, легкие супеси, песчано-гравийные смеси конечно-моренных гряд и другие генерации обломочных пород ледникового генезиса. При разработке проектов мелиоративного строительства необходимо учесть тот факт, что комплекс флювиогляциальных, моренных и озерно-ледниковых пород в процессе днепровской дегляциации сivelировал доледниковый рельеф и стал основой для формирования голоценовых морфоскульптур, развития и распространения мелиорируемых земель.

Глубины установления зеркала грунтовых вод в большинстве случаев не превышают 3,0 м. Они увеличиваются до 5–7 м в пределах склонов Ростанской моренной гряды. Абсолютные отметки водной поверхности изменяются от 177 м на упомянутых водоразделах до 150 м в приозерных понижениях и на истоках р. Припять.

По результатам опытно-фильтрационных работ гидрогеологические параметры этого комплекса изменяются в широком диапазоне, который подтверждает литологическую пестроту отложений разных генетических типов.

Питание водоносного комплекса происходит за счет атмосферных осадков, иногда путем перетекания напорных вод верхнемеловых отложений. Разгрузка вод происходит в аллювиальные отложения речных долин Западного Буга и правобережных притоков Припяти, а также в болотные массивы.

Сопоставление абсолютных отметок уровня зеркала вод этого горизонта и верхнемелового комплекса удостоверяет, что, невзирая на наличие между водоносными зонами заиливания меловых пород, гидродинамическая связь сохраняется.

Режим водоносного комплекса зависит от периодов года, количества и особенностей атмосферных осадков. Сезонные колебания уровня составляют 0,3–1,0 м.

Коэффициент фильтрации пород колеблется от 0,3 до 1,1 м/сутки, а на участках распространения крупнозернистых песков без примесей глинистых фракций увеличивается до 14 м/сутки. Удельные дебиты не превышают 0,7 дм³/с.

По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые. На отдельных участках, испытавших техногенное влияние, встречаются гидрокарбонатно-сульфатные и кальциево-натриевые типы вод. Минерализация составляет 0,3–0,6 г/дм³.

По концентрации водородных ионов воды имеют нейтральную реакцию, очень редко – слабощелочную или слабо кислую.

Общая твердость (жесткость) изменяется от 0,0015 до 0,008 моль/дм³. В пределах влияния населенных пунктов воды загрязнены азотистыми соединениями.

Грунтовые воды, что связаны с флювиогляциальными, моренными и озерно-ледниковыми отложениями среднего неоплейстоцена, повсеместно используются сельским населением для питьевых и хозяйственных нужд из шахтных колодцев и неглубоких скважин.

Водоносный горизонт водно-ледниковых отложений нижнего неоплейстоцена (f P₁ ok). Для изучения гидрогеологии условий нижнего неоплейстоцена самым репрезентативным является отрезок времени тилигульского ледникового периода, когда большая часть территории Западного Полесья была перекрыта окским ледником.

Водоносный горизонт связан с флювиогляциальными и моренными отложениями, которые сохранились от дальнейшего размыва в пределах впадин ледникового выпахивания, на всех правобережных притоках, а также на сниженных участках прадолины Кшна-Припять.

Водонасыщенные отложения в пределах впадин залегают на верхнемеловых мергелях и на лубненских межледниковых водоупорных образованиях. Перекрывается водоносный горизонт водоупорными отложениями завадовского климатолита среднего неоплейстоцена.

Подшова водонасыщенных коллекторов имеет общий уклон на северо-восток. В разрезе скважины, которая пробурена в юго-западной части поозерья, подошва этого горизонта находится на отметке 137,5 м, а уже через 20 км в долине р. Припять она опущена до 130 м. Мощность водоносного горизонта увеличивается в северо-восточном направлении от 5,0 до 15,0 м. Исключением являются переаглубленные участки в с. Голядин (скв. № 35-н), а особенно в районе оз. Тур, где тилигульские отложения достигают мощности 65 м. Водовместительными породами служат разнородные пески с гравием и гравийно-галечные смеси.

Описанные условия залегания этого горизонта обуславливают напорность его вод. Пьезометрические уровни почти совпадают с уровнями грунтовых вод и устанавливаются на глубине 1,5–2,5 м от дневной поверхности. Средняя мощность водоносного горизонта равна 10,0 м.

Питание водоносного горизонта осуществляется за счет напорных вод верхнемеловых отложений. Окским ледником в упомянутых выше переаглублениях образована эродированная зона кольматации мела, а осадки этого горизонта отложены непосредственно на трещиноватых, водонасыщенных мергелях, что обеспечивает непосредственную тесную взаимосвязь обоих напорных горизонтов. Разгрузка вод происходит в перекрывающие водоносные и водоупорные горизонты.

Коэффициенты фильтрации разнородных песков составляют 0,2–8,9 м/сутки.

Режим водоносного горизонта является синхронным с режимом напорных вод мела, однако изменяется во времени с опозданием на декаду с колебаниями уровней в грунтовых безнапорных водах. Меньшей является амплитуда годового колебания уровня, которая равна 0,1–0,3 м.

По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, в долине Припяти – гидрокарбонатно-сульфатные, а в переаглублениях верхнемелового рельефа – кальциево-магниевые. Минерализация вод этого горизонта составляет 0,6–0,9 г/дм³. Воды по большей части нейтральные или слабощелочные, умеренно жесткие. На участках, где размещены населенные пункты, фиксируется повышенное содержание азотистых соединений.

Водоносный комплекс отложений туронско-маастрихтского ярусов верхнего мела (K₂ t – m). Этот водоносный комплекс на территории Западного Полесья является основным при практическом использовании межпластовых вод. Он имеет повсеместное распространение, за исключением между-речья, где кристаллические образования Украинского кристаллического щита подстилают антропогенные образования.

Водовместительными породами являются морские образования трещиноватого писчего мела и мелоподобного мергеля, которые сформировались в туронско-маастрихтский периоды.

Меловой разрез отмечается резким увеличением мощности морских отложений благодаря росту уклона домезозойской поверхности в западном направлении, особенно в периферийной части Львовского палеозойского прогиба.

На междуречье Льва-Случ, по широте автомагистрали Киев – Варшава, верхнемеловые отложения залегают на гранитоидах, гнейсах, кристаллических сланцах Украинского кристаллического щита. Дальше на запад, на Горынь-Случском междуречье, образования мела отложены на песчаниках полесской серии средне-верхнего рифея. На участке Стырь-Горинского междуречья мел отложен на образованиях верхнего венда. Западнее, от речной долины Стыру и до г. Любомль, они подстилаются нижнесилурийскими до (г. Ковель) и верхнесилурийскими отложениями. От г. Любомль и до госграницы с Республикой Польша терригенная мергельная толща мела отложена на аргиллитах, песчаниках, известняках и алевролитах каменноугольной системы палеозоя, которой заполнена Львовская палеозойская впадина. Ширина выходов пород палеозоя не превышает 15 км.

За разрезом опорной гидрогеологической скважины «б – Шацк», что функционирует на территории санатория «Лесная песня», меловая толща залегает в интервале 21,0–238 м, то есть мощность ее представляет 217 м. Уже в 20 км на запад в районе с. Красный Бор подошва мел-мергельной толщи находится на глубине 272 м.

На всей территории Западного Полесья меловые отложения перекрываются палеогеновыми и четвертичными отложениями, мощность которых изменяется от первых метров до 127 м (скв. 88) в районе г. Камень-Каширский, 105 м (скв. 1755) оз. Турское.

В кровле мела сформирована известняковая элювиальная толща мощностью от 5 до 10 м, которая играет роль локального водоупора, так называемой зоны кольматации, которая является древней корой выветривания. Подстиляется меловая толща, в которой циркулируют межпластовые воды, аркозовыми песчаниками псефитовой структуры, которые отнесены к сеноманскому водоносному горизонту верхнего мела.

Водоносный горизонт туронско-маастрихтского яруса отличается региональной зональностью. Водонасыщенная толща начинается сразу от зоны заиления (кольматации) и достигает глубины до 70 м. В этом интервале сверху вниз увеличивается трещиноватость мел-мергельных осадков, максимум которой, по данным геофизических исследований, отмечается в интервале глубин 30–60 м. Ниже по разрезу трещиноватость постепенно уменьшается, а трещины становятся намного меньшими и уже на глубине приблизительно 120 м данная толща становится практически водоупорной.

В пределах тектонических нарушений мощность зоны водообмена увеличивается.

По гидравлическим особенностям туронско-маастрихтский водоносный комплекс является напорным. Пьезометрический уровень в пределах пойм Западного Буга и приток Припяти находится около дневной поверхности. Показательной для условий Шацкого поозерья является наблюдательная режимная скважина № 21, что находится на берегу залива Луки озера Свитязь. За последние 30 лет, с тех пор, как проводятся наблюдения, уровень зеркала мелового водоносного горизонта находится на отметке 25–85 см выше поверхности земли и акватории оз. Свитязь.

Питание водоносного комплекса мелово-мергельной толщи происходит по большей части за счет инфильтрации атмосферных осадков. Областью питания служит вся территория, которая находится севернее водораздельной полосы бассейнов Днестра и Припяти в пределах Воыно-Подольского артезианского бассейна. Важную роль в питании мелового водоносного комплекса играют местные водоразделы на междуречье основных правобережных притоков р. Припять. В зависимости от морфологии и структурно-тектонического плана верхнемелового рельефа определяется величина питания отдельной части бассейна каждой средней реки. На описываемой территории подземный сток направлен к долине Припяти. Упомянутая выше зона кольматации на площади распространения мела имеет мозаичное развитие и не создает единственного сплошного водоупорного слоя. По консистенции мел этого горизонта является водонасыщенным, но с очень низкой водоотдачей, потому она и служит водоупором.

Для мел-мергельной толщи турон-маастрихта типичным является развитие карстового процесса, особенная активность которого отмечается в пределах тектонических зон. Районы развития карста отмечаются резкими изменениями водообогащения мел-мергельных пород.

Гидрологические параметры мелового горизонта изменяются в широком диапазоне. Коэффициент фильтрации мела писчего колеблется от 0,5 до 30 м/сутки, при самых типичных значениях 2–7 м/сутки. Стоит отметить, что наименьшие коэффициенты фильтрации (0,5–3,0 м/сутки) типичны для денудированной мело-мергельной толщи в пределах прadolины Кшна-Припять.

Режим мелового водоносного горизонта в пределах Шацкого горстового поднятия и на отдельных участках высокого залегания мелового субстрата подтверждает зависимость от метеорологических условий Шацкого поозерья. С погружением меловой поверхности на глубину эта зависимость ослабляется, хотя общее поднятие уровней воды фиксируется в весеннее половодье и летние паводки и, наоборот, понижается в летнюю и зимнюю межень. Годовая амплитуда колебания уровней не превышает 0,4 м.

По химическому составу воды туронско-маастрихтского водоносного горизонта отличаются преимуществом гидрокарбонатно-кальциевого состава с величиной минерализации 0,2–0,5 г/дм³. Общая твердость изменяется в пределах 0,001–0,007 моль/дм³.

Водородный показатель указывает на нейтральность или слабую щелочность меловых вод. На отдельных участках, где низкая проницаемость пород мелового горизонта и затрудненная связь с грунтовыми или атмосферными водами, отмечается повышенное содержание железа. Азотистые соединения в естественных условиях отсутствуют, однако при соответствующей техногенной нагрузке их содержание может достигать до 1 мг/дм³.

Благодаря неглубокому залеганию, повсеместному распространению, значительной и стабильной мощности, хорошим коллекторским свойствам водовмещающих пород и удовлетворительному качеству воды туронско-маастрихтский водоносный комплекс используется в качестве основного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения. Модуль эксплуатационных запасов этого горизонта представляет 2 дм³/с/км².

Водоносный горизонт в отложениях сеноманского яруса верхнего мела (K₂S). Геологоструктурные особенности территории Западного Полесья предопределили ограниченное развитие сеноманского водоносного горизонта. С точки зрения влияния на гидромелиоративное состояние и мероприятия относительно проведения осушительных мелиораций воды сеноманского водоносного горизонта имеют ограниченное значение. Это связано со спецификой его распространения. Да, в центральной и восточной частях Западного Полесья, он, подстилая мергельно-меловую толщу, имеет непосредственную взаимосвязь с туронско-маастрихтским комплексом, особенно в зонах тектонических разломов. В западной части влияние на гидромелиоративное состояние территории не установлено. Если в пределах Горынь-Случского междуречья сеноманский водоносный горизонт залегает в интервалах глубин 65–80 м, то в пределах Львовской палеозойской впадины – 290–310 м. Например, гидрогеологической скважиной «6 – Шацк» он раскрыт в интервале глубин 238–242 м. Подземные порово-пластовые воды циркулируют в песчаниках псамитовой текстуры кварцево-глауконитового состава. Песчаники этой маломощной толщи слаботрещиноватые.

Перекрывается горизонт относительно водоупорной мергельной толщей туронского яруса, мощность которой достигает 30 м. Подстиляется он водоносными отложениями кембрия, силура и девона.

Горбашивский водоносный горизонт перекрывается толщей вулканитов бабинской и ратновской свит и подстиляется мелкозернистыми песчаниками полесской серии рифея. Мощность этих образований изменяется от 25 до 10 м. Высота напора горизонта достигает до 200 м. Дебиты скважины изменяются от 1,5 до 25 дм³/с при снижении уровней зеркала вод до 20 м.

Питание этого водоносного горизонта происходит благодаря перетоку вод из залегающего ниже горизонта полесской серии, а также в связи с оттоком вод в зонах тектонических разломов.

По химическому составу воды горбашивского горизонта являются хлоридно-натриевыми с высокой минерализацией – до 30 г/дм³, что подтверждает затрудненный водообмен на глубинах в пределах 1000 м. Для народнохозяйственных потребностей воды этого горизонта самостоятельно не используются.

Водоносный комплекс в отложениях полесской серии среднего и верхнего рифея (R₂ – 3 pl). На Западном Полесье этот водоносный комплекс под меловые отложения выходит по линии Костополь-Заречное, то есть на восточной части Полесья. Он перекрывается маломощным горбашивским водоносным горизонтом, который имеет с ним тесную гидравлическую взаимосвязь. Водоносный комплекс полесской серии подстиляется образованиями кристаллического фундамента, в припокровельной зоне которого циркулируют подземные воды.

Самой глубокой скважиной № 6 – «Шацк» водонасыщенные породы этой серии раскрыты на глубине 1178 м при глубине скважины 1252 м. Следовательно, полесский водоносный комплекс раскрыт лишь на 74 м. В классическом варианте полная мощность терригенных образований полесской серии среднего-верхнего рифея составляет 700 м.

Породы, в которых циркулируют подземные воды этого комплекса, сформированы песчаниками серой расцветки светло-розовым и красно-бурым оттенками. Они мелкозернисты, полевошпатово-кварцевые слюдистые, с маломощными прослойками алевролита, который принадлежит к зоне затрудненного водообмена.

4.4.3. Водоупорные горизонты и их комплексы. Особенности водоносных горизонтов и их комплексов, которые распространены на Западном Полесье: они имеют более-менее установленные взаимосвязи и образуют зону активного до 700 м и затрудненного от 700 до 1200 м водообмена. Необходимо отметить, что каждый из выделенных стратиграфических подразделений имеет свои, часто

свойственные только ему, особенности. Водоносные породы разделяются распространенными водоупорными комплексами пород с низкими фильтрационными свойствами.

Ниже приводим краткое описание водоупорных горизонтов и их комплексов.

Водоупорный комплекс грунтовых вод. Приуроченность грунтовых вод к стратиграфическим подразделениям или климатолитам в определенной степени условна, поскольку наличие в разрезе неоплейстоценовых отложений мощных толщ водонепроницаемых пород создает определенные трудности для их гидрогеологической оценки.

Водоупорный комплекс озерных и озерно-болотных отложений (I, Ib, P). Этот комплекс местного водоупора имеет значительное распространение, особенно в контурах прадолины Кшна-Припять, и на участках экзарационных переуглублений, где образовались осадки завадовского межледниковья.

Литологически он представлен суглинками, озерными глинами, заторфованными супесями, гиттиями и другими разновидностями осадочных пород. Усредненная мощность водоупоров неоплейстоценовых отложений в притоках Припяти достигает 10,0 м. Коэффициенты фильтрации изменяются в диапазоне от 0,02 до 0,002 м/сутки.

Локальные водоупоры завадовского горизонта ограничивают область вертикальной фильтрации, благодаря чему идет формирование межпластового водоносного горизонта средненеоплейстоценовых озерно-аллювиальных отложений. Распространение водоупорных отложений на участках, где отсутствующая зона кольматации верхнего мела играет важную роль в формировании гидродинамических условий на территории исследований и защиты от загрязнения и истощения верхнемелового водоносного горизонта туронско-маастрихтских отложений, который играет ведущую роль в организации централизованного водоснабжения.

Водоупорный горизонт в кровле отложений туронско-маастрихтского яруса верхнего мела (e K₂). Местным водоупором в Западном Полесье выступает зона кольматации верхнемеловых пород. Это кора выветривания меловой толщи, которая образовалась в неогеновый период в процессе комплексного действия экзогенных факторов. Важную роль при этом сыграла неотектоническая активность, когда поверхность меловых отложений стала суходолом.

В то время часть разреза мелового массива была зоной аэрации, то есть переосушенной поверхностью, которая подвергалась физико-химическим процессам выветривания. Позже, в период материковых оледенений, в процессе гляциостатической нагрузки выветренный, измельченный материал втискивался в моренный и флювиогляциальный, заполняя естественную трещиноватость. После деградации последнего оледенения меловая толща и ее кора выветривания, которые не были покрыты льдом, размораживались, причем часть втиснутого обломочного материала осталась в закольматированных трещинах. Первичная трещиноватая высушенная меловая масса превратилась в вязко-пластичную, а в некоторых случаях даже в текущую консистенцию. В целом в геологическом разрезе эта меловая масса всегда является увлажненной и водонасыщенной, однако в ней отсутствует водоотдача.

В гидродинамическом отношении зона кольматации разделяет грунтовые воды, что мигрируют в четвертичной толще, и межпластовые воды верхнемелового водоносного горизонта, чем способствует его защищенности.

На территории исследований зона кольматации как местный водоупор отсутствует лишь в пределах переуглублений в меловом массиве, где благодаря экзарационной работе ледников она была содрана и перенесена в более южные широты. Усредненная мощность зоны кольматации составляет 5 м, хотя иногда может достигать 10 м.

Коэффициент фильтрации выветренного мела в этой зоне равен 0,06–0,0004 м/сутки. Увеличение фильтрационных свойств происходит в направлении к речным долинам бассейна Припяти.

Зона кольматации обуславливает напорное состояние верхнемелового водоносного горизонта.

Водоупорный горизонт в отложениях туронского яруса верхнего мела глубже 120 м (K₂ t). Известно, что зона более интенсивной трещиноватости в меловых отложениях, с которой связан мощнейший водоносный горизонт, достигает глубины 70–80 м. Ниже по разрезу морские меловые отложения отмечаются постепенным угасанием трещиноватости, то есть переходят в массивные образования.

Плотность мелового массива, который прослеживается на глубине, не дает возможности мигрировать подземным водам, которые являются основанием для выделения их как регионального водоупорного горизонта.

4.5. Режим подземных вод

Известно, что под режимом подземных вод понимают закономерное изменение во времени зеркала уровня безнапорных и напорных вод, расходы воды, трансформацию химического состава и

температуры в результате влияния разнообразных абиотических и биогенных факторов. На территории Западного Полесья к основным режимоформирующим факторам относятся особенности геологического и геоморфологического строения.

Состояние современного рельефа, особенно измененного в результате проведения мелиоративных осушительных работ, является малопригодным для культивирования сплошного растительного покрова и хозяйственной деятельности населения. Перечисленные, а также, возможно, и другие факторы влияют на гидросферу в совокупности, однако влияние каждого из них обуславливает разнообразные последствия. Установлено, что условия гидрогеологии мелиоративного строительства определяются современными процессами формирования грунтовых вод. Источниками их формирования и водного питания болот и заболоченных земель являются атмосферные осадки и образованный ими склоновый сток, паводковые и напорные воды. Изучение режима подземных вод проводилось до периода осушительных мелиораций и проводится в период функционирования дренажных систем. Так, в западной части Полесья, в районе оз. Свитязь и на р. Турия в Ковеле системные режимные наблюдения проводятся с 1946 г., а в период Великой Отечественной войны (1941–1945) на р. Турия в Ковеле функционировал водомерный пост, результаты наблюдений по которому используются и в наши дни. Перечисленные режимоформирующие факторы нами разделены на 2 группы. В первую входят абиотические составляющие: геологическое строение, неотектонические движения, морфология рельефа и гидрографическая сеть. Ко второй – гидрологические и метеорологические условия.

Факторы первой группы определяют условия и глубину залегания подземных вод, строение водовмещающих отложений, их инженерно-геологические свойства, мощность, литологический состав зоны аэрации, закономерности изменений водопроницаемости и водоотдачи, условия взаимосвязей грунтовых и напорных вод, степень естественной дренированности территории и т. п.

Режимоформирующие факторы второй группы являются переменными в течение одного года и обуславливают сезонные особенности изменения режима подземных вод.

Доминирующее влияние на характер колебания уровней подземных вод имеют климатические факторы: атмосферные осадки, изменения температурного режима, влажность воздуха, а в прибрежных зонах средних рек и естественных водоемов – гидрологический режим.

По результатам собственных исследований, проведенных в бассейне Горыни в 2009–2011 гг., установлено: после выпадения интенсивных ливневых дождей в летний период в течение 3 часов уровень грунтовых вод в колодцах повышается через 5–6 часов, уровень вод верхнемелового водоносного комплекса – в течение 5–7 дней, а уровень глубокозалегающего верхнепротерозойского водоносного горизонта резко поднимается через 26–28 дней.

К искусственным режимоформирующим факторам относим водорегулирующие системы, крупные водозаборы подземных вод. В наше время в условиях Западного Полесья грунтовые воды находятся в пределах больших осушительных систем: Копаяевской, Стубленской, Берешковской, Турской, которые функционируют в различных частях Западного Полесья, и много других систем [12].

До проведения осушительных мелиораций в пределах названных территорий уровни грунтовых вод почти в течение целого года находились близко (0,1–0,2 м) к дневной поверхности, а в период паводков и наводнений покрывали поверхность на 0,1–1,5 м. В период межени зеркало грунтовых вод не опускалось ниже 0,5–0,7 м.

На переломе столетий в паводковые периоды грунтовые воды мигрируют в пределах относительно поднятых уровней, но ниже, чем при осушении территорий. В паводковый период они перекрывают дневную поверхность. Меженные периоды, как правило, проявляются с конца июня до конца октября (летне-осенняя межень), а также с января – марта (зимняя межень). В эти часовые интервалы положения уровней грунтовых вод находится значительно ниже, чем при осушении, или ниже уровней на прилегающих территориях богарных земель. Например, в период летне-осенней межени уровни грунтовых вод снижаются до 1,1–1,4 м, а на некоторых массивах – до 1,6–1,7 м, что подтверждает переосушение мелиорируемых земель. Это относится к Цирской, Сошичнянской и другим мелиоративным системам, на которых позже проведены реконструкции с целью улучшения водно-воздушного баланса почв. В зимний период уровенная поверхность грунтовых вод находится на глубинах 0,6–0,8 м.

Влияние осушительных систем на уровенный режим прилегающих территорий проявляется на расстоянии 0,7 км от их контуров, а зеркало грунтовых вод снижается на 0,2–0,4 м. Эти факторы подтверждаются наблюдениями режима вод в шахтных колодцах, которые находятся на периферийных участках мелиорируемых земель в окрестностях населенных пунктов. Необходимо отметить, что резкий спад уровней грунтовых вод проявляется в первые 3 года после проведения осушительных работ. В следующие 3–4 года уровни грунтовых вод несколько повышаются и стабилизируются. В летний

период заметным становится влияние водорегулирующих почв во время активной вегетации сельскохозяйственных культур.

Нарушение водного режима грунтовых вод установлено в районах эксплуатации крупных, сосредоточенных водозаборов питьевых вод (города Ковель, Луцк, Ривне, Гоща, Сарны), где в радиусе 1,5–5,0 км наблюдается резкое снижение уровней воды в бытовых колодцах на 2,5–4,5 м.

С целью регулирования режима грунтовых вод в районе перечисленных городов построены русловые водохранилища, что дает возможность увеличить ресурсы напорных вод, в первую очередь верхнемелового водоносного комплекса, и улучшить питание грунтовых вод. По результатам анализа многолетних данных режима и с учетом многих режимоформирующих факторов в пределах Западного Полесья удалось установить следующие виды естественного режима грунтовых вод: пойменный, террасный, склоновый, междуречный и водораздельный.

Пойменный вид режима обусловлен гидрологическим режимом рек Западный Буг, Припять, Вижевка, Турия, Стоход, Стырь, Горынь, Случ, Ствига и их притоков. Многолетние наблюдения за реками Турия, Стырь, Горынь проводятся с 1948 г. специализированными партиями геолого-мелиоративных экспедиций Львова, Луцка и Ровно. В разные годы в процессе проведения гидрогеологической и инженерно-геологической съемок для целей мелиоративного строительства в бассейнах правобережных притоков Припяти проводились годовичные наблюдения за режимом рек и грунтовых вод пойм. В западной части территории исследований с 1969 г. проводятся гидрорежимные наблюдения бывшим институтом УкрНИИГ и М.

По результатам анализа графиков колебания уровней по р. Турия в районе г. Ковель можно отметить, что весенний подъем пойменных вод начинается в первой декаде марта, иногда с опозданием к началу апреля. Длительность подъема уровней равна 12–18 дней, а высота растет от 0,6 до 1,5 м. В это время пойма покрывается слоем воды до 0,5 м. Затем наступает медленный спад, который продолжается до октября месяца.

Летне-осенняя межень прерывается летними ливнями и кратковременными дождями. В этот период уровни грунтовых вод устанавливаются на глубинах 0,4–0,6 м, а на участках высокой поймы – 1,0–1,2 м. Характерной особенностью поймы р. Припять и ее правобережных притоков в приустьевых частях является покрытие паводковыми водами поверхности в течение 2–3 месяцев в году, иногда максимальный слой воды достигает 1,5–2,0 м.

Террасный вид режима грунтовых вод в низовьях правобережных притоков Припяти и р. Западный Буг близок по условиям формирования к периодам разных проявлений с пойменным видом.

Геолого-геоморфологические и гидрогеологические особенности первых и вторых террас полесских рек рассматриваются в едином изложении.

Первые террасы – это узко вытянутые, шириной до 0,5 км, полосы вдоль пойм рек и формой наследующие соответствующие русла. Вторые террасы – Турии, Стохода, Стыру и Горыни, развитые в низовьях этих рек, сливаются со второй террасой р. Припять.

В сравнении с пойменным видом режима этих же рек террасный режим характеризуется более низкими значениями сезонных и годовых амплитуд. В пределах террас наблюдаются высокие весенние наводнения и длительные летние осадки зеркала грунтовых вод, которые объясняются интенсивным испарением и оттоком. В периоды летних дождей спады уровней грунтовых вод замедляются. Амплитуда колебания уровней на террасах р. Припять не превышает 0,3–0,4 м; в долинах Турии, Стохода и Горыни – 0,9–1,2 м. Максимальные уровни воды наблюдаются в марте – в начале апреля, минимальные – в октябре-ноябре.

Летний и зимний меженные периоды наступают в сроки, отмеченные при характеристике пойменного режима.

Летняя межень нарушается в период интенсивных дождей, которые выпадают как на территории Западного Полесья, так и на участках истоков правобережных притоков.

Склоновый вид режима приурочен к северным склонам Волынского лессового плато, где формируются речные системы Турии, Стохода, Стыру и на склонах Любомль-Столинской моренной гряды, которая пересекает центральную часть Западного Полесья. Наблюдения проводятся в скважинах, которые расположены в отдельных узлах, за грунтовыми и межпластовыми водами. Начало весеннего подъема уровней отмечается в феврале – апреле, длительность которого изменяется от 10 дней до 1 месяца.

Площади с междуречным типом режима на территории исследований находится на плоских равнинах междуречья: Западный Буг – Вижевка, Турия – Стоход, Стоход – Стырь, Стырь-Горыньское междуречье, Горынь – Случ и Случ – Льва – Ствига. Указанные междуречья сформированы водно-ледниковыми, озерно-ледниковыми и озерно-аллювиальными отложениями верхнеплейстоценовых

климатолитов. В большинстве случаев они служат материнской основой для развития голоценовых болотных массивов. В зависимости от литологического состава пород они определяют типы между-речного вида режима грунтовых вод. В пределах между-речных пространств в период летней межени уровни грунтовых вод устанавливаются на глубинах от 0,8 до 1,0 м (зандровые равнины), до 1,5–2,3 м (ледниковые слабо повышенные равнины). В период выпадения атмосферных осадков уровенная поверхность грунтовых вод повышается на 0,4–0,5 м. В зимний период уровни устанавливаются несколько выше и находятся на глубинах 0,6–0,8 м. Колебание уровней в период зимней межени не превышает 0,2–0,4.

Уровневый режим грунтовых вод между-речных пространств находится в тесной взаимосвязи с частотой и интенсивностью выпадения атмосферных осадков и температурным режимом. При всех ровных режимоформирующих факторах амплитуда колебаний уровенной поверхности в первую очередь зависит от глубины залегания зеркала грунтовых вод, литологического состава пород зоны аэрации и величины испарения с водной поверхности.

В колебаниях уровней грунтовых и напорных вод устанавливается определенная синхронность.

В пределах осушенных земель в период паводков уровни устанавливаются на глубинах 0,4–0,6 м, снижаясь в межень до 1,2–1,5 м. Годовая амплитуда колебаний уровней несколько более высока, чем на богарных землях, и достигает 0,8–1,1 м.

Водораздельный вид режима грунтовых вод проводится фрагментарно, по отдельным скважинам и наблюдательным колодцам. Он тяготеет к склоновому, что определяется направлением стока подземных вод, и к между-речному, с которым в какой-то мере синхронизируется [2].

4.6. Гидродинамические условия подземных вод

Задачей современной осушительной мелиорации является использование естественных комплексов и проектирование совершенных мелиоративных систем, которое должно учитывать гидродинамические условия подземных вод и закономерности их общего распространения, взаимосвязи и тенденции развития после осушения.

Гидродинамические особенности зоны активного водообмена территории Западного Полесья формируются многочисленными геолого-гидродинамическими составляющими. Среди них различаются геолого-структурное положение Полесья в Волыно-Подольском артезианском бассейне, область формирования подземных вод, литологические особенности водовместительных пород и типы коллекторов, метеорологические факторы, особенности рельефа и техногенная нагрузка на водоносные горизонты.

Не только перечисленные, но и другие абиотически-биогенные факторы определяют движение подземных вод в неоднородной среде. На сегодняшний день пользуются известным классическим разделением водоносных пластов по неоднородности, предложенным Г. Н. Каменским [8]:

- двухпластовые горизонты, в которых нижний имеет значительно больше водопроницаемости;
- горизонты сложного строения, образованные пластами разной водопроницаемости;
- горизонты с разной или постепенно изменяемой водопроницаемостью в горизонтальном направлении.

Для Западного Полесья гидрогеологические условия являются близкими к первым двум вариантам классической схемы.

Установлено, что гидродинамическую обстановку обуславливают артезианские воды водоносного горизонта туронско-маастрихтского яруса верхнего мела, которые циркулируют в трещиноватых породах мергельно-меловой толщи на глубине от 21,0 до 120 м. Ниже, к подошве меловых отложений залегает водоупорная толща, которая разделяет водонасыщенные породы палеозоя и венда от водоносного горизонта, который находится выше.

Распространение верхнемелового водоносного горизонта является повсеместным. Водопроницаемость пород в зависимости от коллекторских свойств изменяется от 200 до 500 м²/сутки при коэффициентах фильтрации 3–5 м/сутки. Воды имеют напорный характер. Пьезометрические уровни устанавливаются на отдельных участках на абсолютной отметке 175 м, а в районе оз. Свитязь – на 25–85 см выше его акватории.

Напорный горизонт, который находится выше верхнемелового, связан с водно-ледниковыми и ледниковыми отложениями нижнего неоплейстоцена, то есть окским горизонтом, который имеет ограниченное распространение в верховьях прадолин Кшна-Припять и Стирь-Словечна и на переуглублениях Стохода и Горыни.

Водонасыщенные породы залегают во впадинах и понижениях верхнеплейстоценового рельефа с незначительным уклоном на северо-восток. Подошва комплекса в районе с. Голядин находится на

отметке 137,5, а на расстоянии 20 км вниз по долине подошва опущена до 130 м. Мощность водоносного комплекса изменяется от 5,0 до 15,0 м. Водовмещающие породы представлены разнородными песками с гравием и гравийно-галечными смесями.

Водопроницаемость межпластовых напорных вод окского комплекса составляет 25–50 м²/сутки при коэффициентах фильтрации 1–3 м/сутки. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубине 1,5–2,5 м и совпадают с уровнями грунтовых вод.

Повсеместно, кроме участков развития сдренированных отложений, то есть дюн, камов и оздов, на территории исследований имеют распространение грунтовые воды. Основными коллекторами являются четвертичные отложения разного генезиса, литологического состава, мощности и форм залегания. Величина водопроницаемости изменяется в широком диапазоне от 5–10 м²/сутки для флювиогляциальных отложений до 25–50 м²/сутки для промытых песков первой надпойменной террасы Западного Буга при коэффициенте фильтрации соответственно < 1 и 1–3 м/сутки.

Напорные воды туронско-маастрихтского водоносного горизонта движутся в северном и северо-западном направлении к северо-западному крылу Вольно-Подольского артезианского бассейна, который обрамляется Ратновским горстом на территории Польши.

Напорные воды окского горизонта, которые имеют межпластовый характер, направляются долиной Припяти в северных румбах.

Грунтовые воды в естественных условиях принадлежат к бассейнам Западного Буга и правых притоков Припяти. Их движение направлено основными дренами упомянутых рек. Некоторые коррективы с оттоком и поверхностных, и грунтовых вод внесены тотальной осушительной мелиорацией, что повлекло понижение естественного уровня поверхностных и грунтовых вод.

4.6.1. Гидродинамические геофильтрационные схемы.

Особенности геофильтрационной схемы гидрогеологического разреза определяются соотношением в разрезе толщ с разными значениями коэффициентов фильтрации. На основании литолого-генетических особенностей пород зоны активного водообмена, условий гидрогеологии взаимосвязи напорных горизонтов, величин перетока напорных вод в пределах Западного Полесья выделяется семь гидродинамических геофильтрационных схем (табл. 4.6), объединенных в комплексы с индексами А, Б, В.

А. Первый комплекс отвечает условиям функционирования единственного грунтово-напорного водоносного комплекса, который охватывает территорию долины Западного Буга. Геоморфологические особенности здесь способствуют образованию отложений, литологический состав которых вызывает циркуляцию грунтовых вод со свободной поверхностью. Последние залегают на напорных верхнемеловых водах, которые по водообеспеченности формируют значительно более мощный по сравнению с грунтовым водоносный горизонт.

Б. Второй комплекс отвечает условиям движения напорных вод, учитывая наличие в верхнемеловой толще зоны кольматации, то есть относительного водоупора.

В. Третий комплекс объединяет напорные свойства верхнемелового водоносного горизонта и напорные возможности водоносного горизонта в нижненеоплейстоценовых отложениях (fPI ok), а также мощные водоупорные слои.

Гидродинамический участок АI¹ территориально представляет правобережную часть поймы Западного Буга и первую надпойменную террасу, отложения которых подстилаются верхнемеловыми породами. Здесь грунтовые воды циркулируют в мелкозернистых, гумусированных песках с прослойками супесей, которые формируют геологический профиль заводи. Мощность горизонта 5–6 м, коэффициент фильтрации пород (Кф) 0,9–1,3 м/сутки.

Гидродинамический участок АI². Это водоносный горизонт в аллювиальных, хорошо промытых, отсортированных песках средней зернистости с Кф 2,3–4,5 м/сутки. По условиям взаимосвязи грунтовые воды современного аллювия и надпойменной террасы образуют единый гидродинамический комплекс с напорными водами туронско-маастрихтского водоносного комплекса, мощность которого в среднем составляет 60 м, а Кф изменяется от 3,5 до 9,6 м/сутки.

Гидродинамический участок БI¹. В этом случае грунтовые воды полностью сдренированы, а напорные воды перекрыты водоупором зоны кольматации. На территории исследований такие гидродинамические условия прослеживаются в Ростанской конечно-моренной гряде, в геоморфологически выраженных оздовых и камовых водно-ледниковых отложениях и на участках развития эоловых образований.

Мощность сдренированных отложений 5,0–10,0 м, литологически это суглинки валунные, песчано-гравийные смеси и пески разной зернистости, преимущественно мелкозернистые. Кф изменяется от 0,3 до 0,8 м/сутки.

Водоупорная толща зоны кольматации, которая занимает верхнюю часть толщи верхнемелового массива, имеет мощность 1,0–5,0 м. Кф закольматованных мергелей составляет 2·10–4 м/сутки. Мощность верхнемелового водоносного горизонта в среднем достигает 55,0 м. Кф изменяется в зависимости от плотности пород, трещиноватости и литологического состава в пределах 3,0–7,6 м/сутки.

По условиям взаимосвязи при отсутствии грунтовых вод первым от поверхности залегает напорный горизонт туронско-маастрихтских отложений.

Гидродинамический участок БП². На этом участке одинаковые гидродинамические условия, характерные для площади, расположенной севернее контуров прадолнины Кшна-Припять. Здесь грунтовые воды циркулируют во флювиогляциальных отложениях днепровского оледенения.

Это водоносные пески разной зернистости мощностью 5,0–15,0 м; Кф – 1,7–6,2 м/сутки. Подстилаются они водоупорным горизонтом зоны кольматации мощностью 2,0–5,0 м, Кф которой изменяется от 1·10–3 до 1·10–5 м/сутки. Ниже залегает водоносный горизонт верхнего мела, сформированный мергелем и мелом писчим с рядовой мощностью до 60 м, с Кф 2,8–5,7 м/сутки.

Гидродинамический участок БП³. Своеобразные гидродинамические условия имеются на территориях развития болотных отложений, которые сформированы на флювиогляциальных песках и супесях. Грунтовые воды удерживаются в торфах и супесях общей мощностью до 3,5 м, где Кф изменяется от 0,05 до 0,5 м/сутки.

Водонасыщенные флювиогляциальные пески и супеси имеют мощность 5,0–9,0 м, а их Кф изменяется от 1,0 до 3,0 м/сутки.

Параметры гидрогеологии водоупорных закольматированных мергелей и водонасыщенных меловых отложений совпадают с теми, которые подходят для гидродинамического участка П².

Гидродинамический участок ВП¹. Этот участок отмечается гидродинамическими условиями, вызванными сложным строением геологического разреза. Он находится в истоках р. Припять, что тяготеет к переуглублениям, образованным окским ледником. На сниженных участках флювиогляциальной равнины грунтовые воды циркулируют в болотных отложениях, сформированных торфами разной степени разложения с линзами и прослойками супесей при общей мощности 1,5–4,0 м. Коэффициент фильтрации торфов изменяется от 0,03 до 0,7 м/сутки. Отложения торфа подстилаются основным водоносным горизонтом грунтовых вод, сформированным песками разной зернистости и супесями общей мощностью 4,0–11,0 м. Коэффициент фильтрации пород этого горизонта представляет 1,5–4,0 м/сутки. Грунтовые воды от напорных окского горизонта отделяются водоупорными суглинками, которые образуют локальный водоупор завадовского климатолита. Мощность водоупорной толщи достигает 10 м. Их Кф изменяется в широком диапазоне – от 0,02 до 0,002 м/сутки. Ниже, в пределах контуров распространения ледниковых отложений, циркулируют напорные воды окского горизонта, мощность которого составляет 9,0–11,0 м, коэффициент фильтрации разнотернистых песков с линзами гравия изменяется от 0,1 до 8,9 м/сутки.

Подстиляется окский горизонт мергельно-меловой толщей, средней мощностью до 40,0 м, которая является коллектором напорных вод с Кф 2,5–7,4 м/сутки. В этом случае имеем сложную гидродинамическую связь, вызванную тем, что грунтовые воды болотных и флювиогляциальных отложений формируют единый горизонт, отделенный локальным водоупором от напорных вод окского и верхнемелового горизонтов, что не дает возможности перетекать напорным водам. В совокупности все это способствует установлению пьезометрической поверхности выше уровня грунтовых вод.

Несомненно то, что, когда грунтовые воды не инфильтруются в горизонты, которые залегают ниже, это способствует заболачиванию территории. В первую очередь это происходит в естественных снижениях доголоценового рельефа, занятых торфяниками разного ботанического и механического состава, которые постоянно подпитываются напорными водами. В пределах Шацкого поозерья, на участке между Свитязским и Пулемецким озерами, величина перетекания напорных вод в грунтовые представляет 35 мм/год.

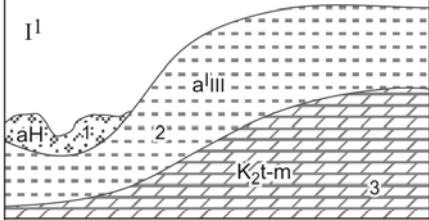
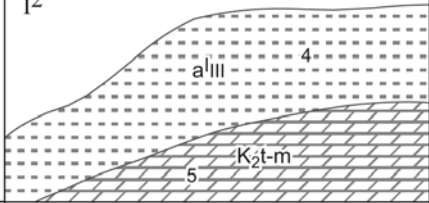
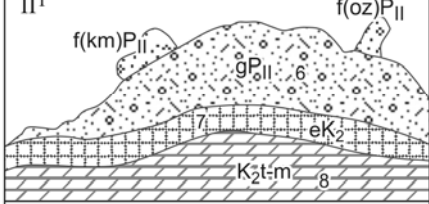
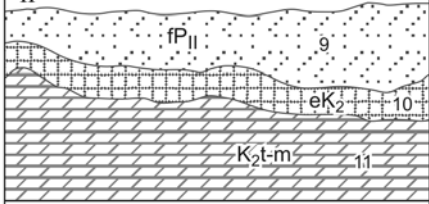
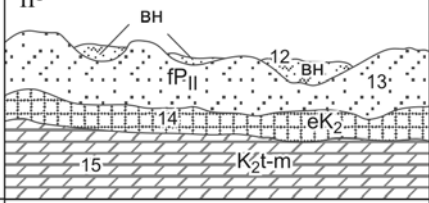
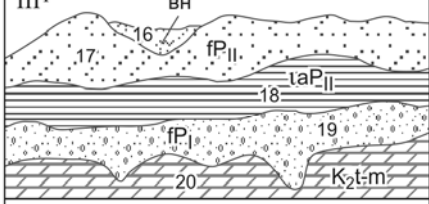
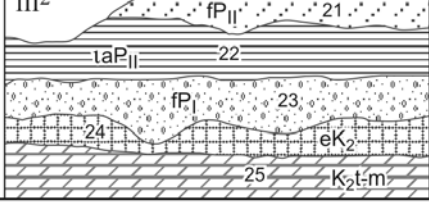
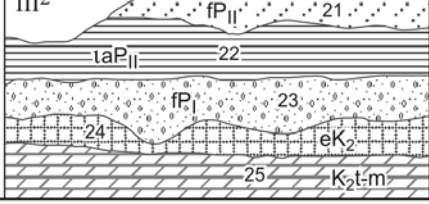
Гидродинамический участок ВП² является сложной геофильтрационной схемой, которая прослеживается в юго-восточной части территории поозерья, в пределах прадолнины Кшна-Припять.

В противовес участку ВП¹ к упомянутым условиям добавляется местный водоупор – зона кольматации верхнего мела. Следовательно, первым от поверхности залегает грунтовый, безнапорный водоносный горизонт, связанный с флювиогляциальными отложениями мощностью 3,0–7,0 м при Кф 1,7–3,9 м/сутки. Ниже имеют повсеместное распространение отложения локального водоупора завадовского климатолита мощностью 8,0–10,0 м при Кф 0,03–0,001 м/сутки. Этот водоупорный горизонт препятствует вертикальной миграции вод окского напорного водоносного горизонта. Ниже везде распространена зона кольматации, то есть местный водоупор, разделяющий напорные воды верхнего мела от окского горизонта.

На геофільтраційній схемі показані: K^1 – водоносний горизонт (комплекс) ґрунтових вод; K^2 – міжпластові води з місцевим напором; K^2 – напорні води верхньомелового горизонту; $K_{л}$ – локальні водоупорні товщі (1а ПІІ); K_p – місцевий водоупор зони кольматації.

Таблиця 4.6

Опорні літолого-генетичні та гідродинамічні ділянки

Індекс геофільтраційної схеми	Літолого-генетичний комплекс порід	Потужність шару, м	Різнovid порід	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	Геофільтраційна схема
А	 <p>I¹</p>	1. 5–6	піски дрібні гумусовані	0,9–1,3	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₁</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>
		2. 7–10	піски середньозернисті відсортовані	2,3–4,5	
	 <p>I²</p>	3. 60	мергель, крейда писальна	3,5–9,6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₁</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>
		4. 7–10	піски середньозернисті відсортовані	2,3–4,5	
Б	 <p>II¹</p>	5. 60	мергель, крейда писальна	3,5–9,6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K_p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>
		6. 5–10	суглинки валунні, піщано-гравійні суміші	0,3–0,8	
		7. 1–5	мергель запискований, зона кольматації	2·10 ⁻⁴	
	 <p>II²</p>	8. 55	мергель, крейда писальна	3,0–7,6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₁</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K_p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>
		9. 5–15	піски різнозернисті	1,7–6,2	
		10. 2–5	мергель запискований, зона кольматації	1·10 ⁻³ – 1·10 ⁻⁴	
	 <p>II³</p>	11. 60	мергель, крейда писальна	2,8–5,7	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₁</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K_p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>
		12. 3–5	торф, супіски	0,05–0,5	
13. 5–9		піски, супіски	1,0–3,0		
В	 <p>III¹</p>	14. 3–5	зона кольматації, мергель запискований	2·10 ⁻³ – 1·10 ⁻⁴	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₁</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K_p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>
		15. 50	крейда, мергель	3,0–8,0	
		16. 1,5–4	торф, супіски	0,03–0,7	
		17. 4–11	піски різнозернисті, супіски	1,5–4,0	
	 <p>III²</p>	18. 10	суглинки, супіски	0,02–0,002	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₁</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K_p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂¹</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>
		19. 9–11	піски різнозернисті	0,2–8,9	
		20. 40	мергель, крейда	2,5–7,4	
		21. 3–7	піски різнозернисті, супіски	1,7–3,9	
	22. 8–10	глини, суглинки	0,03–0,04	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₁</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K_p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K_л</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂¹</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">K₂</div>	
	23. 5–7	піски, гравій	0,5–6,3		
	24. 5–9	мергель, крейда	0,001–0,007		
	25. 35	крейда, мергель	3,5–8,0		

Примітка. 19. 9–11: 19 – номер літолого-генетичного комплексу; 9–11 – потужність шару порід.

Определяющее влияние на современное состояние гидрогеологии Западного Полесья принадлежит напорным водам верхнего мела и грунтовым водам антропогена. Следовательно, по условиям формирования и миграции воды верхнемеловых отложений, то есть туронско-маастрихтского водоносного комплекса, относятся к трещинно-поровым с «двойной пористостью», которая раскрывается в результате длительного и максимально мощного отбора вод. Территория исследований находится в области разгрузки напорных вод, формирование которых происходит на северных склонах Вольно-Подольской плиты.

Учитывая тектонические условия территории, наличие Главного Европейского водораздела поверхностных вод и слабо выраженный водораздел грунтовых вод, можно констатировать, что верхнемеловые воды в целом направлены на северо-северо-восток.

Непосредственно в пределах Полесья частичная разгрузка вод верхнего мела происходит в смежных, то есть тех, которые залегают выше, водоносных горизонтах через «гидрогеологические окна», а также через систему разломных нарушений, особенно на участках Вижевско-Минской и Медновской тектонических зон.

Высота напора вод контролируется гипсометрическим положением кровли верхнемеловых отложений. Так, на водораздельных участках она составляет 5–7 м, а в пределах прадолины Кшна-Припять – 30 м.

По величине водопроницаемости (K_m) туронский-маастрихтский водоносный горизонт разделяется на 3 зоны. Первая – долина Западного Буга, где водопроницаемость изменяется от 210 до 576 м²/сутки; вторая – центральная и северо-западная часть Полесья, где K_m составляет 150–418 м²/сутки; третья – южная и восточная его части, то есть территория прадолины Кшна-Припять, где водопроницаемость колеблется от 100 до 296 м²/сутки.

На основании проведения опытно-фильтрационных работ установлена гидравлическая взаимосвязь между напорными верхнемеловыми и напорно-безнапорными грунтовыми водами четвертичных отложений. Подтверждениями этому:

- синхронное колебание уровней грунтовых и напорных вод во время долговременных мониторинговых наблюдений;
- при проведении долговременных – до 30 суток – откачиваний воды из верхнемелового водоносного горизонта уровни грунтовых вод синхронно изменялись, хотя в отдельных случаях с опозданием;
- гидро- и пьезогипсы имеют подобную конфигурацию;
- на основании математической обработки гидрогеологических параметров установлено наличие «фактора перетока» через зону кольматации верхнемеловых отложений. Рассчитанная его величина на северном обрамлении оз. Свитязь составляет 35 мм/год.

Величина перетока в зависимости от гипсометрического положения поверхности меловых пород изменяется на отдельных участках смежной территории. Так, начиная с отметки поверхности мела 180 м и выше происходит боковой отток верхнемеловых вод в грунтовые. На отдельных участках эта величина достигает 1000 мм/год, что удостоверяет непосредственную гидравлическую связь между напорными и грунтовыми водами.

На территории Шацкого поозерья экспериментальное изучение величины перетекания верхнемеловых вод в грунтовые осуществлялось в районе с. Положево, на правом берегу канала Припять, на южном берегу оз. Люцимер и в районе с. Фомиче, которое находится у истока р. Припять. Опыты производились в предпосевной и вегетационный периоды, их результаты даны в таблице 4.7.

Таблица 4. 7

Экспериментальные величины перетока вод через окна зоны кольматации меловых отложений по состоянию на 1976 г.

№ п/п	Мощность зоны кольматации	Коэффициент фильтрации зоны кольматации, л/м ³	Направление перетеканию	Абсолютная отметка уровней				Величина перетока, мм/год	
				грунтовых вод		напорных вод			
				25,04	25,07	25,04	25,07	25,04	25,07
1	5,0	$6,25 \cdot 10^{-4}$	напорных вод в почве	167,55	166,89	167,47	166,99	7,4	9,0
2	8,0	$7,2 \cdot 10^{-4}$		166,03	165,37	166,12	165,50	13,05	6,7
3	3,0	$8,46 \cdot 10^{-4}$		170,97	170,28	171,08	170,50	34,15	68,3

Примечание: № 1 – с. Положево; № 2 – оз. Люцимер; № 3 – с. Фомиче.

Приведенная в таблице информация дает основание утверждать, что величины перетока в межженный период выше, чем в паводковый. Значение 68,3 мм/год на III гидродинамическом участке подтверждает общий переток верхнемеловых и окских напорных вод.

Следовательно, наличие феномена гидродинамического перетока вод в пределах Западного Полесья обеспечивает уникальность гидрогеологических условий этого края.

4.7. Эффективность осушительных систем и рекомендации мелиоративных мероприятий

Осушение болот, заболоченных и излишне увлажненных земель – чрезвычайно сложная и многогранная проблема, изучение которой должно быть всесторонним, а не ограничиваться только экологическими и экономическими вопросами. Выводы ученых часто являются диаметрально противоположными. Сейчас появляется потребность в анализе современного состояния осушительных систем, в частности сельскохозяйственного, лесохозяйственного, рекультивационного и рекреационного преобразования земель и их эксплуатации. Сегодня коэффициент использования осушенных земель составляет 0,4–0,7 и продолжает падать. Причиной является общий экономический кризис, который предопределяет выход из строя осушительных систем. Как следствие, идет деградация грунтового покрова, превращения осушенных массивов в перелogi, обрастающие дикорастущей травянистой растительностью, кустами и деревьями. Трансформация осушенных почв стала непрогнозируемой.

В наше время гидрогеолого-мелиоративное состояние отдельных осушенных массивов бывает неодинаковым на отдельных площадях, что определяется не особенностями водного питания торфяников, а неравномерной эффективностью работы осушительной сети. Как результат, в пределах каждой осушительной системы есть участки, на которых снижение уровня воды на предпосевной период и начало вегетационного является завышенным или заниженным.

Применение широкомасштабных осушительных мелиораций в Полесье привело к негативным изменениям в окружающей среде. Оценка влияния осушения на водный баланс и режим рек имеет столетнюю историю (от начала крупномасштабного осушения в Полесье) и донныне сохраняет свое актуальное значение. За последние годы в зоне Полесья исчезли реки, которые питались грунтовыми водами, тогда как реки, которые питаются подземными водами, увеличили свою водность. Выпрямление русел малых рек сопровождается частыми катастрофическими наводнениями, которые приводят к смыву и размыву почв, подтоплению и заболачиванию ряда мелиоративных систем, разрушению берегов. Снижение уровня грунтовых вод и изменение в связи с этим отметок местных базисов усилили эрозию земель (смыв почв, ветровая эрозия и т. п.).

На равнинных торфяниках из-за снижения влаги выделяется большое количество тепла, вызывающая самовозгорание. На полесских территориях Ровенщины недобор урожая на прилегающих к осушительным системам суходолах представляет не менее 25 %, а влияние осушительных систем достигает 2–2,5 км, то есть превышает площадь осушенной территории. Поэтому полученная на осушенной площади продукция практически равняется недобору на прилегающих землях [7].

Известно, что географический таксон Западного Полесья охватывает полесские части территорий Волынской и Ровенской областей. Значительная заболоченность территории перемеживается с мелкоконтурными пахотными землями, что оттягивает сроки посевов и сбора урожая и снижает применение сельскохозяйственной техники.

На Волыни используется 266,2 тыс. га осушенных земель, на Ровенщине – 390,4 тыс. га, из которых 275,0 тыс. га осушено гончарным дренажом, на 224,3 тыс. га предусмотрено двухстороннее регулирование водно-воздушного режима, а 59,9 тыс. га занимают польдерные системы.

Приведем примеры функционирования осушительных систем в разных гидрогеолого-мелиоративных условиях и в разных бассейнах рек Полесья.

Копаяевская осушительная система находится в бассейне р. Западный Буг. Общая площадь – 3864 гектара, которая по большей части осушена открытыми каналами, только незначительные участки – гончарным дренажом. В гидрогеологическом отношении это часть северо-западного крыла Волино-Подольского артезианского бассейна (ВПАБ). Гидромелиоративное состояние определяется взаимодействием напорных вод туронско-маастрихтского водоносного комплекса и грунтовых вод, которые циркулируют во флювиогляциальных и болотных отложениях антропогена.

Современные болотные отложения распространены около оз. Свитязь, Луга, Перемут, а также в зоне магистрального канала Копаяевской осушительной системы от урочища Оконица к оз. Герасимово. Они сформированы торфяником и илом мощностью от 1,3 до 6,5 м. Мощность ила в оз. Черном и Климовском составляет 16 м. Ил темно-серого и черного цвета, торф темно-коричневый. На незна-

чительной территории встречается болотный мергель. По типу водно-минерального питания торфяники принадлежат к низинным; по растительному составу это древесно-осоковые и травянистые образования. Преобладают дерново-осоковые и осоковые ассоциации. Степень распада торфа составляет 40 %, доля золы достигает 25–60 %.

Воды болотных отложений бурого цвета с соответствующим болотным запахом. Они гидрокарбонатно-кальциевые, их сухой остаток составляет до 762 г/л. Вода имеет нейтральную реакцию (рН = 7) относительно бетонных сооружений. Коэффициент фильтрации торфа, определенный с помощью экспресс-откачиваний, колеблется от 0,28 до 1,35 м/сутки. При большой зольности торфа может быть до 0,4 м/сутки. Болота представляют почти 35 % площади мелиоративной системы и являются совокупностью отдельных массивов [10].

Водные горизонты четвертичных отложений представляют единый водоносный комплекс. В целом для почв осушительной системы пьезометрический уровень напорных вод постоянно находится выше уровня грунтовых вод. Соотношение этих уровней вод изменяется в зависимости от времени года, то есть от количества осадков. На Копяевской осушительной системе имеются разные интервалы залегания уровней грунтовых вод : от 0 до 0,5 м; от 0,5 до 0,75 м; от 0,75 до 1,5 м (табл. 4.1).

Тростянецкая осушительная система находится в бассейне р. Стырь, в южной части Западного Полесья. Общая площадь 5200 гектаров. Осушение осуществляется системой открытых каналов. Водное питание заболоченных и переувлажненных земель преимущественно грунтово-атмосферное.

К строительству мелиоративной сети уровни грунтовых вод в период зимней межени устанавливались на глубине 0,0–0,8 м, в сниженных частях заболоченной поверхности они совпадали с гипсометрией рельефа. В первые годы эксплуатации системы снижение уровней представляло 0,5–0,7 м. Эффективный радиус влияния каналов достигал для песков 100–150 м, для других разновидностей пород – 50–90 м, что способствовало недоосушенной значительной периферийной части мелиорируемых земель. В дальнейшем техническое состояние открытых дренажных каналов ухудшалось, что способствовало повторному переувлажнению земель, которое держалось до июня. Неэффективность функционирования системы обусловила проведение реконструкции с внедрением гончарного дренажа.

Оконская осушительная система находится в бассейне р. Стоход в центральной части Западного Полесья. Построена в 1970 р., общая площадь 2827 гектаров. Тип водного питания преимущественно болотно-грунтово-атмосферный.

По результатам режимных наблюдений наиболее высокий уровень грунтовых вод удерживается в марте-апреле, в период весеннего наводнения, и достигает 0,5–0,6 м, а наиболее низкие уровни – 1,0–2,0 м устанавливаются в конце летней межени.

После проведения в 80-х годах реконструкции системы установилась благоприятная мелиоративная обстановка – залегание уровней грунтовых вод достигло оптимальных норм осушения (0,75–1,5 м) для минеральных почв на всей территории. На прилегающих богарных землях в зависимости от гипсометрии рельефа уровень установился на глубине 0,75–0,8 м.

Коритницкая осушительная система находится в бассейне р. Стырь, в центрально-восточной части территории исследований. Она построена в 1961 г., общая площадь 7402 гектара. Водное питание осушительного массива – грунтово-атмосферное. К строительству мелиоративной системы зеркало грунтовых вод находилось на глубине 0,0–0,3 м в пределах болотных массивов и 0,3–0,5 м на прилегающих землях. В меженный период уровни воды снижались до 0,4–0,9 м, что способствовало стойкому переувлажнению к середине июля.

В первые годы функционирования системы максимальное снижение уровня грунтовых вод до 0,35 м в торфяниках устанавливалось на расстоянии 100–120 м от открытых каналов, а в минеральных почвах – 0,25–0,3 м. Наиболее высокие уровни отмечаются в период весеннего половодья – март-начало апреля, самые низкие – в летнюю межень – август-сентябрь.

На предпосевной период и в первую половину вегетационного периода уровни грунтовых вод в приканальной зоне шириной 50 м устанавливались на глубине 0,25–0,4 м. На межканальных площадях шириной до 100 м глубина залегания уровня грунтовых вод составляла 0,1–0,3 м. Такое положение грунтовых вод не обеспечивало нормативных условий развития сельхозкультур. Коритницкая осушительная система реконструирована в 80-е годы.

Полицкая осушительная система находится в северной части междуречья Стоход – Стырь. Она построена в 1961 г., общая площадь 5257 гектаров. Водоприемником служит р. Коростянка. Доминирующим является грунтово-атмосферное питание болот.

В первые годы функционирования мелиоративной системы отмечено снижение уровня грунтовых вод до 0,5 м в торфяниках и 0,3 м в минеральных почвах в периферийной части. За 10-летний

период эксплуатации системы на межканальных участках уровни колебались от 0,1 до 0,3 м, что не обеспечивало нормативных условий сельскохозяйственного производства. В конце 70-х годов проведена реконструкция этой осушительной системы. Негативную роль в работе системы играет фактор подпора воды, которая скидывается в паводковый период в р. Коростянку, а та – в Припять.

В большинстве стран мира мелиоративные мероприятия – это целеустремленные преобразования малопродуктивных территорий в высокоплодородные земельные угодья. У нас относительно осушительной мелиорации существует две диаметрально противоположных концепции: одна утверждает только позитивные последствия, другая – негативные. Решение этого вопроса требует всестороннего изучения физико-географических особенностей осушительных систем, возможностей их эксплуатации и рационального использования. Следовательно, сегодня существует потребность всестороннего исследования мелиоративных систем для их рационального использования и выявления их влияния на повышение урожайности и окружающую среду. Между ландшафтными районами севера и юга Западного Полесья выявлены существенные отличия, которые заключаются в большом разнообразии форм поверхности при в целом незначительной глубине расчленения. Реконструкция палеогеографии естественных условий Волынского Полесья в голоцене по сравнению с современными показывают наличие тенденции к прогрессирующему уменьшению обводненности Полесской низменности, в том числе в результате неотектоники.

Основные мелиоративные особенности полесских районов Украины заключаются в следующем:

- а) напряженность атмосферного водного баланса;
- б) широкое развитие заболачивания из-за бессклонового рельефа и близкого к поверхности уровня грунтовых вод;
- в) сложность и пестрота ПТК с преобладанием их грунтово-водно-дифференцированных комбинаций;
- г) северные районы Западного Полесья по естественному потенциалу сельскохозяйственного использования принадлежат к категории преимущественно залуженных и лесных земель, а южная – к пахотным [9].

Следовательно, важным элементом научной основы осушительных мелиораций является познание существующих естественных процессов, которые формируют естественно-территориальные комплексы.

Анализ естественных условий длительного функционирования неоднородных мелиоративных объектов для обоснования планирования и проектирования мелиоративных мероприятий должен непременно содержать специализированную характеристику естественно-территориальных комплексов.

Изучение режима грунтовых вод в пределах осушенных территорий и прилегающих богарных земель, трансформации рельефа, особенно торфяников в период переосушений, активизации современных экзогенных процессов, комплексных влияний абиотично-биогенных процессов и тому подобное, стали основой для установления некоторых закономерностей.

1. Влияние осушительных мелиораций в течение первых лет эксплуатации систем выражается, в основном, в амплитудах колебания уровней грунтовых вод в направлении увеличения. Разница в положении уровней на протяжении одного года составляет до 3,0 м в пределах водораздельных участков и близко к 1,5 м в пределах речных долин.

2. Зона влияния осушительных мелиораций на среднесезонный уровень грунтовых вод не превышает 1,0–1,5 км при максимальном снижении уровня грунтовых вод в пределах мелиоративных территорий 0,7–1,0 м, на прилегающих богарных землях – 0,2–0,4 м.

3. При функционировании осушительных систем отмечается слабая тенденция в направлении роста общей минерализации подземных вод, а также увеличение в водах сульфатных и хлоридных соединений в пределах территории, которая подлежит осушению. Этот фактор при целеустремленном изучении может удостоверить поступление в подземные воды техногенных загрязняющих соединений. Однако не установлено никаких закономерностей в изменении химического состава вод в зависимости от геоморфологической приуроченности участков наблюдений.

4. Уровни грунтовых вод на осушенных массивах в связи с особенностями их сезонного питания испытывают колебания с двумя (весенним и осенним) подъемами, а при неглубоком (до 3,0 м) залегании четко реагируют на выпадение ливневых осадков.

5. На режим грунтовых вод осушенных земель, как правило, большое влияние оказывают колебания уровней воды в мелиоративных каналах. В целом они являются синхронными с небольшим опозданием во времени с кривыми колебаний в каналах и водоприемниках.

Известно, что крупномасштабные объемы мелиорации земель в Западном Полесье и в Украине вообще обусловили значительное сокращение естественного фонда болот и заболоченных земель. С начала 90-х годов основное внимание уделяется реконструкции осушительных систем, в первую очередь таких, которые построены в 60-е годы без надлежащего обоснования условий мелиоративной гидрогеологии. Одной из наиболее распространенных причин неудовлетворительного функционирования осушительных систем стало то, что при проектировании недоучитывались особенности водного питания объектов, в частности характера подземного водообмена и его количественные показатели. В процессе гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1: 50 000 установлено, что направленность и интенсивность подземного водообмена зависят от численных факторов: наличия или отсутствия водного питания из напорных горизонтов, мощности и характера залегания торфяников или покровных суглинков, которые формируют местные водоупоры, свойств состава, распространения подстилающих водоносных горизонтов. Как показала практика мелиоративного строительства, в условиях напорно-грунтового питания заболоченных земель подземными водами при разной мощности торфяников строительство однотипного дренажа приводит к переосушению и недоосушению мелиоративных объектов.

В условиях Западного Полесья открытая мелиоративная система эффективно функционирует при расстоянии между каналами до 150 м. При таком варианте строительства резко уменьшается площадь использования земель и затрудняется их механизированное возделывание. Кроме этого, приведенные расстояния не всегда обеспечивают ожидаемое снижение воды. Установлено, что непосредственный отток воды из торфяников в каналы составляет 3–5 мм, или 2–3 мм от общего снижения грунтовых вод торфяников. Поэтому каналы заложены на торфяниках и, не прорезая на его полную мощность, практически не выполняют дренирующую функцию, а их влияние на режим грунтовых вод торфяников проявляется не более чем на 20 м.

Дренаж торфяников осуществляется в том случае, когда каналы непосредственно дренируют подстилающие торф и пески. За счет снижения пьезометрического уровня в песках ниже уровня свободной поверхности грунтовых вод происходит перетекание из торфа и дальнейшая разгрузка в дренажную сеть. В таком варианте отток грунтовых вод из торфяника в мелиоративную сеть составляет до 30 % от общей потери, а регулирующее влияние канала проявляется на расстоянии до 100–120 м.

Рекомендации. На основе опыта эксплуатации существующих мелиоративных систем в пределах Западного Полесья можно рекомендовать следующие мероприятия.

1. Проводить реконструкцию мелиоративных систем и схемы двойного регулирования.
 2. Применять закрытый (материальный) дренаж на площадях распространения тяжелых суглинков и маломощных торфяников. В таком варианте дренаж будет выполнять осушительную и увлажняющую функции. Необходимо отметить, что увлажнение осушенных торфяников методом шлюзования и дополнительной подачей воды в условиях Западного Полесья значительно повышает урожай сельскохозяйственных культур.
 3. На участках развития торфяников мощностью больше 1,0 м на первом этапе осушения (3–5 лет) применять открытую сеть каналов в сочетании с кротовым дренажом.
 4. На участках развития мощных торфяников (больше 2,5 м) целесообразно предусматривать дополнительную закрытую дренажную сеть.
 5. Участки мощностью торфо-болотных почв до 1,0 м целесообразно осушать гончарным дренажом.
 6. На территориях с напорным типом водного питания болот и переувлажненных земель предусматривать применение вертикального дренажа в сочетании с разреженной сетью горизонтального дренажа.
 7. В случаях несостоятельности сброса дренажных вод за пределы осушительной системы применять польдерное осушение.
 8. На отдельных участках с глубиной залегания уровня грунтовых вод больше 3,0 м применять оросительные мероприятия методом дождевания.
- Следовательно, при проведении реконструкций на мелиоративных сетях целесообразно применять рекомендованные или комбинированные методы для проведения дополнительных полевых работ и математического моделирования.

Литература

1. Загоровская И. З. Экономико-экологическая регламентация развития водохозяйственного комплекса Польского региона Украины. – Ровно, 2006. – С. 12–16.

2. Отчет по гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1: 50 000 для целей мелиорации на территории планшетов М-34-24-В. Г; М-34-36-Б; М-35-13-В / И. И. Залесский [и др.]. – Ровно: Фонды РГРЕ, 1977. – 264 с.
3. Залесский И. И. Реконструкция плейстоценовых ландшафтов Волынского Полесья в связи с вопросами рационального природопользования : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Ровно, 1987. – 19 с.
4. Залесский И. И. Шацьке поозер'я. – Т.1 : Геологічна будова та гідрогеологічні умови. – Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2014. – 190 с.
5. Залесский И. И. Гидрохимические особенности вод артезианских водоносных комплексов зоны транзита ВПАБ. – Брест, 2015 (в издательстве).
6. Шацький національний природний парк: минуле, нинішній час, майбутнє / Ф. В. Зюзук, І.І. Залесський [та ін] // Природа Західного Полісся і прилеглих територій. – Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2014. – № 11. – С. 8–18.
7. Ильина О. В. Эколого-географический анализ болот Волынской области. – Львов, 2005. – С. 6–9.
8. Каменський Г. Н. Зональність ґрунтових вод і ґрунтово-геофізическіє зони. – М.: Госгеолиздат, 1947. – 21 с.
9. Клімович П. Еколого-меліоративний аналіз естествонах комплексів Волынского Полесья. – Львов, 2000. – С. 194–232.
10. Колошко Л. Комплексна характеристика Капаївської осушительной системи // Природа Западного Полесья и прилегающих територій. – Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки, 2007. – С. 96–104.
11. Коротышка И. М. География Ровенской области. – Ровно, 1996. – С. 126–130.
12. Методические рекомендации по проведению гидрогеологической и инженерно-геологической съемки для целей мелиорации применительно к природным условиям различных регионов Украины. – Днепропетровск: ИМП, 1979. – 175 с.
13. Муромцев Н. Н. Прогноз влияния осушения на гидрогеологические условия верховьев Припяти // Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды. – Киев, 1979. – С. 17–21.
14. Стрелец Б. И. Перспективы и техническая направленность мелиорации земель в Украинском Полесье // Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды. – Киев, 1979. – С. 8–12.
15. Ткачук В. Г. Методические указания по крупномасштабному гидрогеологическому и инженерно-геологическому картированию и районированию для целей мелиорации (применительно к условиям УССР). – К.: Киевгеология, 1979. – 47 с.
16. Шестопалов В. М. Динамика и естественные ресурсы подземных вод основных водоносных горизонтов Воыно-Подольского артезианского бассейна. – Киев: Наук. думка, 1974. – 126 с.

Глава 5. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ РОВЕНЩИНЫ

5.1. Общие сведения о полезных ископаемых Ровенщины

В области находится свыше 600 месторождений полезных ископаемых, которые представлены 18 видами. На сегодня государственным балансом запасов полезных ископаемых зарегистрированы 242 месторождения, из них 84 освоено промышленностью и на их базе функционирует 59 горных предприятий.

Две трети полезных ископаемых представляют месторождения торфа и сапропеля, которые преимущественно расположены в северных районах. В составе ресурсного потенциала широко представлено строительное сырье, разведанные запасы которого обеспечивают дальнейшее развитие производства бетоно-щебневой продукции, облицовочных плит, цемента, извести, кирпича силикатного и керамического, строительных растворов, и т. п. [1].

Область, единственная в Украине, имеет разведанные месторождения янтаря: Клесовское в Сарненском и Свободное в Дубровицком районах.

Потенциальные запасы янтаря в области значительные. По результатам проведенных Ровенской геологической экспедицией поисково-оцениваемых работ, прогнозные ресурсы янтаря на нескольких участках в Сарненском и Володимирецком районах составляют более 70 тонн.

На Ровенщине расположены уникальные месторождения базальтов, которые по своим физико-механическим и химическим свойствам пригодны как для производства бетоно-щебневой продукции, разных архитектурно-строительных изделий, так и для изготовления из них базальтового волокна и минеральной ваты. В регионах Украины и стран СНГ приблизительно на 20 предприятиях используется сырье наших месторождений для производства базальтового штапельного волокна и изготовление на его основе широкого ассортимента эффективных теплоизоляционных изделий. Развитие такого производства в области недостаточное.

Одновременно с базальтами широкое распространение имеют туфы – продукты извержения вулканов. Прогнозные ресурсы туфового сырья на Ровенщине представляют сотни миллионов тонн, т. е. они практически неисчерпаемы. Это нетрадиционные для региона полезные ископаемые, которые рекомендовано использовать для повышения плодородия и детоксикации радиоактивно загрязненных грунтов, в качестве минеральных примесей к кормам скоту и птице, легких пористых наполнителей теплозвукоизоляционных материалов.

В Рокитнянском районе разведаны и эксплуатируются два месторождения стеклянных песков, их разрабатывает ООО «Рокитнянский стекольный завод».

Широкое распространение флювиогляциальных песков, в которых располагаются месторождения, указывает на то, что ресурсы области в стеклянном сырье при проведении дальнейших геолого-разведочных работ могут быть удвоены за счет выявления новых перспективных месторождений.

В качестве керамического сырья в области используются первичные каолины и глины сарматского и кембрийского возраста. Первичные каолины являются корой выветривания кристаллических пород и широко распространены в Березновском, Корецком и Рокитнянском районах.

Бильчаковское и Дерманковское месторождение в Березновском районе разрабатываются Березновским фарфоровым заводом. Каолины используются для производства фарфоровой посуды.

Ровенщина имеет значительные ресурсы подземных пресных вод. В расчете на одного человека этот показатель в 2,5 раза превышает средний показатель в Украине.

Среди природных ресурсов Ровенщины видное место принадлежит минеральным водам. Наибольшее распространение имеют хлоридно-натриевые питьевые воды миргородского типа, запасы которых разведаны в г. Острог, с. Жобрин, Александрия Ровенского района и пос. Степань Сарненского района. На предприятиях области налажен розлив этих вод.

В последние годы определены перспективы создания в области собственной минерально-сырьевой базы фосфорных удобрений на базе месторождений зернистых фосфоритов. Наиболее изученным и подготовленным к промышленной разработке является Милятинское месторождение, которое расположено в Острожском районе. Оцененные запасы месторождения составляют 5 млн тонн, а прогнозные ресурсы достигают 50 млн тонн зернистых фосфоритов.

Есть также перспективы относительно выявления в области промышленных месторождений самородной меди в пределах Рафаловского меднорудного узла и положительные признаки относительно открытия коренных месторождений алмазов в северных районах [2–6].

В использовании полезных ископаемых основные проблемные вопросы развития минерально-сырьевой базы связывают с такими факторами:

- физическим старением основных фондов горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, их недостаточным возобновлением и переоснащением;
- недостаточными инвестиционными поступлениями в развитие горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, разведку и освоение новых месторождений полезных ископаемых;
- недостаточным финансированием прикладных научных исследований, направленных на изучение минеральных ресурсов Ровенщины;
- невозобновляемость естественных минеральных ресурсов, которые определяют необходимость их рационального и экономного использования, в частности янтаря и базальтов столбчатой структуры;
- отсутствием средств у потребителей минерального сырья и неконкурентоспособностью продуктов ее переработки за пределами страны.

5.2. Развитие минерально-сырьевой базы Ровенщины

Развитие минерально-сырьевой базы Ровенщины нуждается в разработке программы по ознакомлению потенциальных инвесторов с имеющимися в недрах области минеральными ресурсами, инновационными проектами относительно их использования, также разработки плана действий, направленных на удовлетворение нужд промышленности и сельского хозяйства Ровенской области минеральным сырьем.

Основными задачами реализации программы по развитию минерально-сырьевой базы Ровенщины и необходимыми мероприятиями за направлениями развития минерально-сырьевой базы являются:

1. Топливо-энергетические ресурсы

Торф. Месторождения торфа распространены по всей территории нашей планеты, однако наиболее интенсивное накопление торфа характерно для Северного полушария. Суммарная площадь торфяных месторождений мира оценивается в 176 млн га. Наибольшие запасы торфа сосредоточены на территории бывшего СССР (40 %), Индонезии (13,6 %), Финляндии (7 %), Канаде (7 %), США (7 %), Китая (5,4 %). Мировые запасы торфа оценивают в 2 трлн тонн. Ежегодно добывают 26–28 млн тонн торфа. Больше всего добывают торф в Финляндии и Ирландии (по 5,5 млн тонн). Основная сфера применения торфа – топливо [7].

В Украине известны 1562 торфяных месторождения с общей площадью в пределах промышленной глубины залежей 583 тыс. га, а в нулевом контуре – около 1 млн га. Общий энергетический потенциал промышленных запасов торфа в Украине составляет 836,5 млн тонн условного топлива; целесообразно-экономический, или энергетический, потенциал балансовых месторождений – 362 млн тонн условного топлива. Торф добывается на территории 505 месторождений площадью 240 тыс. га, 71 месторождение (50 тыс. га) находится в промышленном резерве и лишь 83 месторождения (100 тыс. га) находятся под охраной. В Украине добывают 0,70–0,75 млн тонн торфа в год, из которых 81 % идет на топливо, а 19 % – как органическое удобрение.

Торфово-болотные земли – важный компонент экологических систем. Они играют особую роль в регуляции естественных процессов и в стабилизации качества окружающей среды. Торфяные грунты и торфяники как объекты гидромелиорации и сельскохозяйственного использования и как месторождения добычи торфа, а также как один из возможных альтернативных возобновляемых энергетических источников, относятся к экологически весьма впечатляющим объектам природы. Они требуют пристального внимания, научно обоснованных, строго регламентированных законодательными актами и динамично сбалансированных направлений использования.

Основными причинами, которые побуждали ученых заняться этой проблемой, стали постоянная катастрофическая ситуация с сохранением торфяников в середине XX в. в Европе. Например, в Голландии, Германии, США, Франции и других западноевропейских странах переработано или затронута переработкой больше половины торфяников. В некоторых районах торфяники полностью исчезли. В результате при разработке государственных и международных программ по сохранению водно-болотных угодий и биоразнообразия, изменения климата и т. д. значительное внимание было уделено торфяникам. Но изменения, которые происходят в общественном мнении, ставят на повестку дня необходимость реализации новых экологических подходов к рациональному природопользованию и просмотра целого ряда, казалось бы, уже установленных, но не урегулированных отношений между социумом и природой. Результаты широкомасштабной мелиорации (осушение), активно внедряемого на территории Украинского Полесья в 50–90-х годах, привели к нарушению углеродного цикла, и сегодня осушенные торфяники в Украине стали мощным источником эмиссии парниковых газов.

Добыча торфа и торфяные пожары приводят к катастрофическим непроизводительным потерям торфяной массы, загрязнению окружающей среды. Общая площадь разработанных и нерекультивированных торфяников и торфяных карьеров приближается к стотысячному гектарному рубежу. Поэтому решение проблемы рационально-консолидированного, комплексного, экономного и экологически безопасного использования торфо-земельного ресурса следует рассматривать сегодня как важный социальный заказ.

Торфяные грунты наиболее распространены на территории Западного Полесья и Западной Лесостепи и низменной части Левобережной Лесостепи. Так, общая площадь органогенных грунтов (торфяных, оторфованных, торфяно-минеральных и минерально-торфяных) в Украине составляет 1 млн 414 тыс. га, на преобладающей 78-процентной площади которых построены осушительные гидромелиоративные системы. Общий энергетический потенциал промышленных запасов торфа в Украине составляет 836,5 млн тонн условного топлива (у. т.); целесообразно-экономический, или энергетический, потенциал балансовых месторождений – около 362 млн тонн у. т. Наибольшие площади торфяных грунтов имеют следующие области: Волинская – 290 тыс. га, Ровенская – 262 тыс. га и Черниговская – 220 тыс. га. Площадь произведенных торфяников, которые нуждаются в немедленной реставрации, на территории упоминавшихся областей составляет соответственно 5,3 тыс. га, 7,1 тыс. га и 17 тыс. га, или в соотношении к площади торфяных грунтов – 1,8 %, 2,7 и 7,7 %.

Торфяные ресурсы Украины достаточны для их промышленного использования. Геологические запасы этого полезного ископаемого составляют 2,17 млрд тонн, суммарная площадь торфяных месторождений достигает 1 млн га, а в пределах промышленной глубины – 642 тыс. га. Распределение геологических запасов торфа по областям Украины приведено на диаграмме (рис. 5.1). Наибольшие запасы торфа сосредоточены в Волинской (21 %) и Ровенской (17 %) областях.

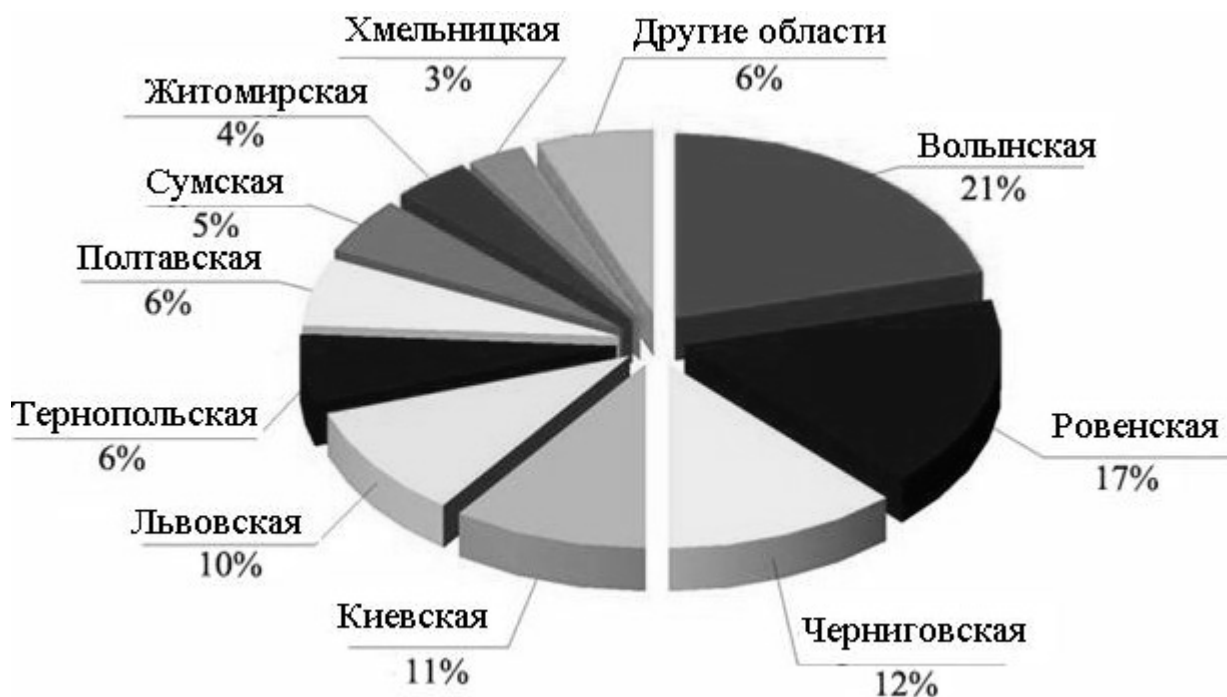


Рис. 5.1. Распределение запасов торфа по областям Украины

Структура торфяных ресурсов, типы запасов и виды торфов позволяют получать широкий спектр разнообразной продукции на основе этого полезного ископаемого: органические удобрения, топливо, торфяную подстилку, теплоизоляционные плиты, кормовые дрожжи, активированный уголь, металлургическое топливо, горный воск.

Основа для производства данных видов продукции – фрезерный торф, который добывается одноименным способом на торфопредприятиях. Основными направлениями деятельности этих предприятий стали добыча торфа, производство торфяных брикетов для коммунально-бытовых нужд, организация и осуществление торговли торфопродукцией.

Запасы торфа в Ровенской и Волинской областях позволяют полностью обеспечивать нужды хозяйственного комплекса регионов в этом виде топлива.

В Украине выявлено и разведано 1562 торфяных месторождений, среди которых около 96 % торфяных ресурсов Украины принадлежит к низменному типу, 1,8 % – верхового, 1,6 % – переходного

го и 0,6 % – смешанного [8]. Наибольшие ресурсы торфа сосредоточены в северных регионах страны (в Полесье) – Волынской, Ровенской, Сумской, Черниговской и Житомирской областях (табл. 5.1). На их территории выявлены и разведаны 1056 месторождений, запасы которых составляют 1160 млн тонн. В западном и восточном Полесье преобладают средние по площади месторождения (200–1000 га), Центральном Полесье (Киевская и Житомирская области) – месторождения небольшие (до 100 га). На юг от Полесья заторфованность территории уменьшается, и торфяные месторождения встречаются преимущественно в долинах рек. Все они низменного типа и высокозольные (30–50 %). Запасы торфа здесь незначительные и промышленной ценности не имеют, за исключением месторождения «Кардашинское» в Херсонской области. Торфяные ресурсы лесостепных и степных областей Украины незначительные. Торф здесь имеет малую мощность (около 1,0 м), высокую зольность, а площадь месторождений составляет 10–20 га [9].

Практически отсутствуют запасы торфа в следующих областях: Донецкой (0,67 млн тонн), Днепропетровской (0,67 млн тонн), Николаевской (1,67 млн тонн), Харьковской (0,61 млн тонн), Закарпатской (0,006 млн тонн). По всем этим областям, кроме Закарпатской, месторождения мелкозалежные, а торф высокозольный.

Таблица 5.1

Разведанные запасы торфа месторождений Украины

Административная область	Количество месторождений		Запасы, тыс. тонн		Добыча, тыс. тонн
	Всего	Разрабатываются	Общие	Подтвержденные	
Винницкая	47	8	33728	3713	-
Волынская	226	86	372153	160706	206
Житомирская	187	59	83707	31791	31
Ивано-Франковская	35	13	13324	5228	20
Киевская	51	14	147810	36978	10
Львовская	128	46	200050	67360	86
Полтавская	49	20	69806	27230	1
Ровенская	330	46	361951	135822	207
Сумская	115	53	101456	55511	3
Тернопольская	76	27	102124	26375	25
Херсонская	3	1	2726	1664	6
Хмельницкая	80	30	61519	24214	-
Черкасская	37	12	52127	22346	26
Черниговская	198	88	250019	63925	92
Украина	1562	503	1852500	662863	713

Стратегия экономической и энергетической политики Украины подразумевает усовершенствование структуры топливно-энергетического баланса, освоение новых видов энергии, разработку и освоение энергосберегающих технологий и техники, рационализацию системы обеспечения топливом и электроэнергией.

Одно из направлений энергосбережения и повышения уровня энергетической безопасности государства – замена дорогих импортных энергоносителей более дешевыми отечественными.

Среди известных в Украине видов твердых топлив следует обратить внимание на торф – органическую горную породу, которая образовалась вследствие неполного биохимического разложения отмерших болотных растений в условиях избыточного увлажнения при недостатке кислорода и содержит до 50 % минеральных компонентов на сухое вещество. И хотя торф, геологически наиболее молодое звено в цепи каустобиолитов «торф – бурый уголь – каменный уголь – антрацит», имеет наиболее низкий уровень карбонизации и соответственно наименьшее значение теплоты сгорания, поверхностное расположение торфяных месторождений, сравнительно небольшие затраты на организацию и ведение добывающих работ делают это полезное ископаемое потенциально эффективным средством энергосбережения.

Украина – наиболее южная страна Европы, где торфяные ресурсы еще имеют промышленное значение и представляют собой реальный резерв улучшения топливно-энергетического баланса Украины. На данном этапе развития экономики Украины актуальны вопросы использования торфа для развития и формирования систем и средств «малой энергетики» с целью получения качественного

редкого и газообразного топлива для использования в системе ЖКХ, а также в других областях хозяйствования.

В данное время научные работники отрабатывают технологию и оборудование технологической линии биофизической переработки торфа, древесных и растительных отходов в редкое и газообразное топливо методом «быстрого пиролиза» с выходом редкого топлива и газа в объемах до 40 % от массы сухого органического вещества (тирсы, шелухи, торфа). Энергозатраты на реализацию технологии не превышают 20 % от энергосостава полученного редкого и газообразного топлива. Теплота сгорания полученного редкого топлива – 42 кДж/кг соответствует по этим показателям дизельному топливу.

Использование энергии возобновляемых источников позволяет экономить традиционные дефицитные энергоресурсы и улучшает экологию производства.

Реализация и освоение новых технологий, процессов, систем энергообеспечения, включая «малую энергетику» и энергетическое оборудование, которое разрабатывается соответственно приведенным выше перспективным направлениям развития энергетической базы хозяйствования, разрешит в ближайшие годы сэкономить 8–10 млн тонн традиционных видов топлива и снизить энергоемкость производства и промышленной продукции на 15–20 %.

Использование торфа как топлива обусловлено его составом: большим содержанием углерода, малым содержанием серы, вредных негорючих остатков и примесей. В сущности, это молодой уголь.

Основными недостатками этого вида топлива являются: более низкая, чем у угля, энергетическая калорийность и трудности сжигания из-за высокого содержания влаги (до 65 %), плюсы:

- низкая себестоимость производства;
- экологическая чистота сгорания (малая часть серы);
- полное горение (малый остаток золы);
- новые технологии сжигания.

Все это делает торф перспективным местным источником полученной тепловой и электрической энергии, так как он:

- дешевле каменного угля и редкого топлива;
- более экологически чистый.

Сфера использования торфа как топлива, с развитием современных технологий сжигания и использования экологически чистых процессов получения дешевой энергии, оценивается передовыми учеными и специалистами как наиболее перспективное развитие энергетики в нынешнем столетии.

На сегодняшний день основными потребителями торфа является сельское хозяйство и промышленно-энергетический комплекс. Прежде всего торф по обыкновению применялся как бытовое топливо, но со временем началось его широкое использование в промышленности и энергетике в виде фрезерной крошки, брикетов и гранул. Большая часть торфяных ресурсов используется в сельском хозяйстве. В некоторых странах существуют заводы, которые выпускают минеральные удобрения на основе торфа.

Продукты переработки торфа применяются в машиностроении, мебельной, полиграфической и косметической промышленности, в производстве товаров бытовой химии.

В данное время предприятия по добыче и переработке торфа, которые работают в системе «Ровноторф», и другие структуры готовят и реализуют торф как топливо и органическое удобрение, что крайне нерационально. По состоянию на 01.01.2015 в Ровенской области работало одно предприятие ДП «Смыгаторф».

Анализ районирования торфяных ресурсов показывает, что наиболее перспективным регионом для строительства добывающих и торфоперерабатывающих предприятий является Украинское Полесье. На месторождениях, которые эксплуатируются предприятиями Украинского концерна торфяной промышленности «Укрторф», сосредоточено 37 % разведанных запасов, на резервных – 9 %, на перспективных для разведки – 8 %, на охранных (которые находятся на территории заповедников и заказников) – 12 %, на осушенных – 23 %, на засоленных ($A^c > 35\%$) – 4 %, на мелкозапасных (средняя глубина залежи менее 1,5 м) – 7 %. Более всего резервных и перспективных для разведки месторождений находится в Ровенской области. Фактический монополист – концерн «Укрторф», который, имея сеть предприятий в 12 областях, добывает каждый год около 600 тыс. т торфа, подавляющее большинство которого переделывается на топливные брикеты. Торфяные топливные брикеты – довольно эффективное твердое топливо с низшей теплотой сгорания около 15 Мдж/кг, влажностью до 20 % и зольностью на сухое вещество до 23 % [9, 10].

В таблице 5.2 приведены основные физико-химические параметры торфа для изготовления разных видов продукции в зависимости от зольности A^c и влажности R .

Требования к торфу как сырью для изготовления разных видов продукции

№ п/п	Вид продукции	Низменный торф	Верховой и переходной торф
1	Удобрение	R – от 15 % A ^c – до 35 % CaO – от 10 % P ₂ O ₅ – от 1 %	R – от 15 % A ^c – от 35 %
2	Топливо	R – 10 % и выше; A ^c – до 35 %	R – от 20 % A ^c – до 23 %
3	Горный воск	Все типы торфа A ^c – до 10 %, R – от 30 %, основные критерии – содержимое бензиновых битумов – 5 %	
4	Дрожжи	-	R – от 35 % A ^c – до 6 %
5	Активированный уголь	-	R – от 35 % A ^c – до 6 %
6	Подстилка	Все типы торфа R – от 15 % до 20 %, A ^c – до 15 %	
7	Горшки и упаковочный материал	Все типы торфа R – от 10 % до 25 %, A ^c – до 15 %	

В Ровенской области добычей торфа занимается ДП «Ровноторф», которое входит в состав Государственного концерна «Укрторф», его органом управления и владельцем имущества выступает Министерство энергетики и угольной промышленности Украины.

В состав государственного предприятия «Ровноторф» входят структурные подразделения:

- дочерние предприятия «Смыгаторф», «Володимирецторф», «Моквинторф»;
- филиал «Сарныторф»;
- главное предприятие, в которое входят производственные участки «Песковоторф», «Верботорф».

Основная продукция – полубрикеты торфяные, фрезерный топливный торф для брикетирования и торф для сельского хозяйства.

Необходимость повышения эффективности управления процессом добычи фрезерного торфа объясняется специфическими особенностями торфяного производства, среди которых основные – сезонность и большая зависимость технологического процесса от метеорологических условий. Успешное выполнение годового плана за 50–60 уборочных дней на протяжении сезона добычи зависит от рациональной организации технологических циклов. Также на протяжении сезона по отдельным дням и технологическим циклам погодные условия резко изменяются в довольно широком диапазоне, поэтому процесс управления производством должен быть гибким, с эффективным реагированием на смену погодных условий.

Результатом эффективного управления процессом добычи фрезерного торфа должно стать выполнение плановых задач с получением конкурентоспособной продукции соответствующего качества. Оценить эффективность управления в торфяной области можно с помощью коэффициента эффективности:

$$K_{ef} = P_f / P_n, \quad (5.1)$$

где: P_f ; P_n – соответственно фактическое и плановое количество торфа добытого за определенный период, т.

Выполнение плановых задач на предприятии зависит от следующих факторов:

- размер полей добычи;
- необходимое количество технологического оборудования и тракторов;
- рациональное использование погодных условий;
- снабжение горюче-смазочными материалами и запчастями.

Эффективность оперативного планирования и управления технологическими процессами добычи торфа в значительной мере зависит от уровня их организации, а контроль за своевременностью и качеством выполнения технологических операций является неотъемлемым принципом научной организации технологического процесса.

Для обеспечения бесперебойного снабжения горюче-смазочными материалами на предприятии необходимо иметь соответствующее оборудование и работников, которые нуждаются в определен-

ных затратах. С целью уменьшения затрат при этом можно использовать опыт организации работы в этом направлении на торфопредприятиях Финляндии, где все мероприятия по снабжению и реализации горючего берет на себя соответствующая компания, которая поставляет емкости для хранения горючего и оборудование для заправки и учета. Таким образом, на участке снимаются проблемы, которые связаны с доставкой, учетом и хранением горючего, в результате чего уменьшаются затраты и себестоимость продукции.

Одной из основных проблем, которые сегодня стоят перед торфопредприятиями, является отвод новых площадей под разработку полей добычи торфа. Работу в этом направлении блокирует распоряжение Кабинета Министров Украины от 10 апреля 2008 г. № 610 «Некоторые вопросы распоряжения земельными лесными угодьями», где речь идет о запрете замены целевого назначения земель, хотя на обработанных и рекультивированных площадях довольно хорошо растет лес и добыча торфа не особенно влияет на смену естественного ландшафта.

На некоторых предприятиях не придерживаются нормативного значения величины количества смен на день, которые приводят к увеличению количества оборудования. Это характерно для технологических операций фрезерования, собирания и штабелировки. Отрицательные следствия выражаются в увеличении стоимости оборудования (за счет количества) и себестоимости продукции. Для уменьшения затрат на удержание тракторов в межсезонный период можно позаимствовать опыт обеспечения тракторами процесса добычи торфа на предприятиях Финляндии. Он заключается в том, что к началу сезона добычи объявляют тендер на определенное количество тракторов соответствующего класса на период сезона. Таким образом, предприятие обеспечивается машинистами и тракторами на сезон (май-сентябрь), а по его окончании снимается вопрос относительно ремонта, загрузки работой и хранения тракторов к следующему сезону добычи. В данное время в Украине такой подход не используют.

Торфяная отрасль напрямую зависит от климатических факторов, поэтому рациональное использование погодных условий – очень важный фактор, от которого зависит весь ход технологического процесса. Обеспечить его можно, имея четкий прогноз погоды на следующий день и технологический цикл, а также разработкой и использованием цикловых графиков. Реальный прогноз погоды разрешит минимизировать затраты на повторное выполнение операций, которые вызваны изменением погодных условий (выпадением осадков) во время технологического цикла. Для улучшения оперативного управления технологическим процессом на участке должны разрабатываться графические модели или цикловые графики. Такие модели в схематической форме отображают выполнение всех технологических операций на рабочей площадке для одного комплекта технологического оборудования с отображением их последовательности и времени выполнения. Использование цикловых графиков позволит выбрать оптимальный режим работы оборудования в технологическом цикле.

В последние годы за границей и (пока что в меньшей мере) в Украине приобретают распространение торфяные пилеты – искусственно высушенный и гранулированный, реже – прессованный в цилиндрические гранулы торф. В отличие от брикетов пилеты имеют достаточную сыпучесть и подвижность для их механизированной подачи из бункера к топочному устройству с помощью винтового питателя. Такой способ подачи топлива позволяет сделать управление топкой дистанционным и четче регулировать процесс горения и температурный режим. Не следует забывать и такую черту торфяных топлив, как их экологичность: имея содержимое серы до 0,3 %, они дают такую золу, которая может использоваться как мелиорант, окислитель грунта и носитель микроэлементов.

Важной проблемой развития торфяной области является подготовка квалифицированных кадров. Единое в Украине высшее учебное заведение, которое готовило инженерные кадры (Национальный университет водного хозяйства и природопользования (НУВХП), г. Ровно) в последние годы не обеспечивается госзаказом концерна «Укрторф», а торфяная область находится в упадке.

Подготовка специалистов направления 0903 (184) «Горное дело» (по перечню 2006 г. с изменениями кода направления 6.050301) профессионального направления 6.090300 «Разработка месторождений полезных ископаемых по видам добычи» осуществляется в университете в учебно-научном механическом институте и обеспечивает специалистами предприятия Ровенской и сопредельных областей по добыче местных ресурсов (базальт, песок, торф). Указанные направления и профессиональное направление являются своеобразными правопреемниками упраздненной специальности 0203 «Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений», специалисты по которой готовились в этом учебном заведении с 1936 по 1988 год, и специальности 0905 «Открытые горные работы» (специализация «Разработка торфяных месторождений и переработка торфа»), которая существовала до 1998 года. Учебный процесс по направлению подготовки обеспечивают опытные преподаватели.

На специальных кафедрах проводится работа с целью дальнейшего развития направления «Горное дело», приспособление его к современным условиям рыночной экономики и повышения качества подготовки специалистов для хозяйственного комплекса страны. Одним из путей усовершенствования подготовки специалистов служит дальнейшее развитие ступенчатого образования, в связи с чем к учебным планам добавлены блоки модульных дисциплин производственно-технического, проектно-конструкторского и научно-исследовательского направления.

Высокий профессиональный уровень научно-педагогических кадров, которые обслуживают специальность, сотрудничество с производством и научными организациями, контакты с зарубежными коллегами, наличие достаточного количества лабораторий, оборудование, компьютеров, программного и методического обеспечения позволяют вести подготовку на надлежащем уровне.

Общий контингент студентов направления подготовки «Горное дело» состоянием на 01.01.2015 года составил 247 человек: дневной формы – 155 чел., заочной – 92 чел. Прием студентов на дневную форму обучения по специальности «бакалавр» соответственно к лицензии составил 33 чел. (2 академические группы), в том числе по госзаказу 30 чел.

Ежегодно все предприятия горного профиля региона и сопредельных областей и все торфопредприятия Украины информируются о правилах приема абитуриентов по направлению подготовки «Горное дело». Преподаватели кафедры, принимая участие в совещаниях директоров горных предприятий, доводят до их руководителей и области информацию о приеме в университет. Совместно формируется список кандидатов на вступление в университет из числа выпускников школ, которые находятся неподалеку от торфопредприятий и горных предприятий.

Таким образом, в сегодняшних условиях перспективно развитие торфяного хозяйства, которое позволяет региону быть энергонезависимым и обеспечить его топливными ресурсами на продолжительный период.

2. Металлические полезные ископаемые

Медь. Прогнозные нужды Украины в самородной меди соответственно составляют 159,3 и 171,5 тыс. тонн. На сегодня Украина не имеет разведанных запасов медных руд, но перспективы выявления их довольно значительны. Они связаны с самородной медной минерализацией в траповой формации Волынского рудного района, Ровенской геологической экспедицией как наиболее перспективные определены Рафаловский в Ровенской и Горняцкий в Волынской области рудные узлы [2–11].

Рафаловский рудный узел расположен в западной части Ровенской области. Через его северную часть проходит железная дорога и автомобильный путь Киев – Варшава. Меденосность Рафаловского узла связана с базальтовыми покровами.

Перспективность самородного медного оруднения подтверждается большими объемами и широким по площади развитием рудосоставных пород, наличием нескольких рудных горизонтов с установленными промышленно значимыми содержанием меди в рудах, самородным характером оруднения, проявлениями сопутствующей минерализации, возможностью комплексного использования рудосоставных пород, благоприятными горно-техническими условиями расположения рудных горизонтов, экологической безопасностью переработки руды.

В 2002 г. разработанная и утвержденная в Государственной геологической службе Украины «Программа поисков и разведывания месторождений самородной меди в пределах Рафаловского рудного узла» предусматривала до 2006 г. завершение поисков в пределах Рафаловской площади и проведение на наиболее перспективных ее участках [2].

В 2003 г. были завершены поиски на Южно-Рафаловском участке. Техничко-экономические расчеты выполнены по 8 вариантам: товарной продукции (медный концентрат и медь металлическая), бортовым содержанием меди в руду 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 % с использованием 75 % хвостов обогащения. Положительная рентабельность достигается с бортовым содержанием 0,3; 0,4 %.

По результатам геолого-экономической оценки был выделен участок площадью 23,6 км² с перспективными ресурсами категории Р в количестве 761 тыс. тонн меди, на котором выполняются работы поисково-оцениваемой стадии.

Ориентировочная стоимость геологоразведочных работ первоочередного участка исходя из минимально необходимых объемов бурения 90 тыс. пог. м и сопутствующих работ будет составлять около 20 млн долл. США.

Основными задачами этого направления являются:

- проведение поисково-оцениваемых работ на Рафаловском рудном узле по подготовке перспективных рудопроявлений (месторождений) к разведыванию;
- концентрация основных объемов поисковых работ на Кухотско-Бельской площади территории Владимирецкого и Заречненского района.

3. Драгоценные камни

Алмазы. Северная часть области (Заричнянский и Владимирецкий районы) по региональным критериям и прямым признаками считается сегодня наиболее перспективной в пределах Украины в отношении выявления коренных месторождений алмазов.

Возле села Кухотская Воля Заричнянского района в 1975 г. был выявлен первый кимберлитовый щит. Найденные здесь обломки кимберлитов (породы, с которыми связаны месторождения алмазов) близки по характеристикам к алмазоносным кимберлитам в Западной Якутии.

Основные задачи этого направления:

- выявление комплексом методов алмазоносных площадей;
- концентрация основных объемов поисковых работ на Кухотско-Бельской площади на территории Владимирецкого и Заричнянского района.

Янтарь. Из всех видов естественного цветного камня (драгоценный, полудрагоценный и поделочный) янтарь наиболее конкурентоспособен. За счет довольно широкого диапазона цветных разновидностей – от белого к буровато-темному, желтые и оранжевые оттенки, степень прозрачности украинский янтарь имеет особую привлекательность.

Важным свойством янтаря считается морфология его кусков. Основные их формы – капли, сталактиты, каплевидные, настольные и внутривольные потоки. Янтарь относится к мягким органическим веществам. Его твердость – 2–2,5 балла по шкале Мооса.

На Ровенщине выделены три зоны и четыре района с промышленными концентрациями янтаря. Все они принадлежат к Припятскому бассейну седиментации, в котором одновременно с накоплением морских отложений в олигоценовую эпоху (около 35 млн лет назад) создавались масштабные янтарные россыпи. Общая площадь распространения производительных янтареносных горизонтов в Ровенской области – 3810 км², что составляет 18 % ее территории. В Ровенской области разведаны два месторождения янтаря: Клесовское в Сарненском и Свободное в Дубровицком районах, которые сегодня разрабатываются государственным предприятием «Янтарь Украины» [13–16].

Дальнейший прирост запасов янтаря-сырца возможен за счет завершения стадии поисковых и поисково-оценочных работ на участках «Федоровская» и «Мелиоративная» в рамках Клесовского месторождения и участков Владимирецкой янтареносной зоны, где ведутся работы Ровенской геологической экспедицией ПДРГП «Пивничгеология» с 1988 года.

Наибольшие янтарные месторождения «Клесов», «Вольное», «Владимирец Восточный» содержат, по меньшей мере, несколько сотен тонн янтарного сырья, из которых разведано промышленных запасов 128 т. Два из них эксплуатируются: Клесовское месторождение (участок «Филин») разрабатывается государственным предприятием «Янтарь Украины», «Владимирец Восточный» – ООО «Центр «Солнечное ремесло». Официальная добыча янтаря за 2015 г. составила 4,5 т.

В 1993 г. постановлением Кабинета министров Украины создано государственное предприятие «Укрятарь», которое стало наследником государственного предприятия «Западкварцамоцветы». Дочернее предприятие «Янтарные копальни» осуществляет эксплуатацию Клесовского месторождения (месторождение «Пугач») и опытно-промышленную разработку Дубровицкого месторождения (участок «Вольное»). В пользование предприятия отведены земельные участки площадью 12,7 га. Площадь двух разведанных месторождений янтаря составляет 803 га.

Потенциальные запасы янтаря в области значительно больше. По результатам поисково-оценочных работ Ровенской КПП ГП «Украинская геологическая компания», прогнозные ресурсы янтаря в только в Дубровицком, Сарненском и Владимирецком районах составляют более 1400 т.

Количество и общая площадь участков, на которые выданы спецразрешения на геологическое изучение, в том числе опытно-промышленной разработки недр недропользователям по состоянию на начало 2016 г.: государственным – 3 и 46,5 км²; частным – 2 и 68,4 км² соответственно. Общая площадь перспективных по янтарю участков, предлагаемых ООО «Украинская геологическая компания» для геологического изучения, – около 800 км². Таким образом, 685 км² янтареносных участков области не контролируются и являются объектами несанкционированных разработок.

Общая площадь участков, нарушенных несанкционированной добычей янтаря, по состоянию на 2009 г. равнялась 374 га. Теперь она, по приблизительным подсчетам, превышает 1000 га и без остановки растет, их учет и ревизия не выполняются.

Добыча янтаря осуществляется ручным и гидромеханизированным способами в закрытых местностях (лесах, посадках), удаленных от населенных пунктов, в условиях бездорожья, что не позволяет обеспечить надежную охрану месторождений янтаря от ограбления, а среду – от разрушения.

Ровенский янтарь поражает своим химическим составом. Он наиболее насыщен примесями и включает 18 химических элементов. Кроме, кремния, магния, железа, кальция, которые присутствуют

почти во всех месторождениях, прибавляются такие, как свинец, цирконий и около 3,19 % серы. Зольность Клесовского янтаря – 8,7 %. Это влияет на качество и цвет затвердевшей смолы. Янтарь – это минерал класса органических соединений, смола хвойных деревьев, в основном палеогенового периода. Состав янтаря: летучее ароматическое масло, две растворимые фракции смолы, янтарная кислота и 90 % нерастворимых фракций. Его химическая формула – $C_{25}H_{40}O_4$. Янтарь – аморфный полимер, имеет множество цветов, дает специфический ИК-спектр (в пределах 700...1900 cm^{-1}), что отличает его от других похожих смол. Температура плавления $t = 365...390$ °С. Удельный вес – 1000...1100 kg/m^3 (в Прибалтике встречается и 970 kg/m^3 , а в Прикарпатье – 1220 kg/m^3). Хорошо подвергается механической обработке. Не растворяется в воде (частично в спирте – 20...25 %, эфире – 18...23 %, хлороформе – до 20 %), но может набухать и увеличиваться в объеме до 8 % при продолжительном пребывании в ней. Полностью распадается в горячей концентрированной азотной кислоте, можно размягчить при $t = 100$ °С [12].

Янтарь используется для изготовления украшений, лаков, красок, лекарственных препаратов. В Ровно открыта ювелирная фабрика, которая, кроме украшений из янтаря, изготавливает янтарную, глицероуксусную кислоты и летучее ароматическое масло, которое используется в фармацевтике.

Наиболее распространены два способа изъятия янтаря из месторождения: механический и гидравлический. Янтарь залегают в песчаных или песчано-глинистых грунтах на глубине 10–15 м.

Проблемный вопрос возникает в области несанкционированной добычи янтаря частными лицами и хорошо организованными, в значительной мере механизированными группами.

Одним из путей выхода из этой ситуации должна стать легализация предпринимательской деятельности по добыче янтаря отдельными гражданами, старательскими артелями, другими предпринимательскими структурами. Основными задачами этого направления являются:

- продолжение поисковых работ в пределах Клесовской, Барашевской и Дубровицкой янтарных зон;
- поисково-оцениваемые работы, в том числе опытно-промышленная добыча янтаря на участках «Владимирец», «Дубовка» и «Жовкини» Владимирецкого района;
- проведение ревизионных работ на площадях незаконной добычи янтаря;
- разработка мероприятий, которые полностью прекратят незаконную добычу янтаря;
- восстановление добывающих работ на месторождении «Вольное» Дубровицкого района;
- освоение новых месторождений янтаря в Владимирецком районе.

4. Неметаллические полезные ископаемые

Агротехническое сырье – зернистые фосфориты. В Ровенской области за последние годы наблюдается тенденция к снижению запасов гумуса, других питательных веществ и повышение кислотности грунтов, что является следствием ведения земледелия с низким уровнем внесения органических и минеральных удобрений, сокращения известкования грунтов.

Оцененные ресурсы фосфоритов составляют 81,1 млн тонн агроруды, или 4,9 млн тонн P_2O_5 при средних мощностях продуктивных горизонтов 1,5–2,0 м и содержания P_2O_5 в среднем 5,9–6,5 %.

В зависимости от глубины залегания продуктивных горизонтов возможна как открытая (карьерная) добыча, так и использование нетрадиционного метода эксплуатации месторождений зернистых фосфоритов – скважинной гидродобычи.

На одном из перспективных участков – Милятинском в Острожском районе завершены поисково-разведочные работы.

Балансовые запасы зернистых фосфоритов месторождения общегосударственного значения апробированы Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Министерстве экологии и природных ресурсов Украины (протокол № 531 от 29.08.2000), которые отвечают техническим условиям «Зернистые фосфориты для удобрений» по категории C_2 в количестве 3594 тыс. тонн агроруды, или 247 тыс. тонн P_2O_5 .

Основными задачами этого направления являются:

- завершение разведывательных работ и опытно-промышленной добычи зернистых фосфоритов на Здолбуновской площади;
- промышленное освоение Милятинского месторождения в Острожском районе;
- широкое использование естественных агроруд (зернистых фосфоритов) в сельском хозяйстве.

Сапропель – ценный естественный, экологически чистый планктонный биостимулятор, который тысячелетиями формировался на дне пресных водоемов (озер) из останков планктонных и бентосовых организмов в процессе бактериальных преобразований при нехватке кислорода. В состав сапропеля, кроме органических веществ, входят песчаные, известковые и другие примеси. Он богат на биологически активные вещества – гормоны, аминокислоты и др.

Сфера использования сапропеля:

- удобрения;
- минерально-витаминные приложения для питания птицы, большого рогатого скота, свиней;
- лечебные грязи;
- строительные материалы;
- органические стимуляторы роста растений;
- мелиорант для коренного улучшения песчаных грунтов;
- нейтрализатор кислотности грунтов;
- мощное сорбентное средство.

На территории Ровенщины разведано 37 месторождений сапропеля, запасы которых составляют 6,2 млн тонн. Основные его запасы сосредоточены в северных районах области.

С учетом электрификации территории указанных районов возможна организация промышленной добычи:

- во Владимирецком районе – оз. Великое-II, Лука и Островатское с запасами 1,4 млн тонн;
- в Заричненском районе – оз. Ореховое – 167 тыс. тонн;
- в Костопольском районе – оз. Марьяновское – 1,2 млн тонн;
- в Сарненском районе – оз. Карасин – 510 тыс. тонн и др.

В связи с повышением интересов рынка к естественным органическим удобрениям группа специалистов Волынской области разработала специальные удобрения направленного действия, которые полностью обеспечивают весь спектр агрокультур и травяные культуры питательными веществами на всех этапах их развития и в разных почвенно-климатических условиях.

Такие удобрения могут выпускаться в двух видах:

- органические (сапропель);
- органо-минеральные (на базе сапропеля).

Гранулированные формы удобрений разрешают в течение нескольких лет поддерживать в почве соответствующий уровень органических питательных веществ. Наличие полной гаммы микроэлементов оказывает содействие более полному развитию растений, увеличению урожая на 25–60 % в зависимости от сельхозкультур.

Учитывая низкую энергоемкость добычи и сушения, украинский сапропель полностью конкурентоспособен по сравнению с уже известными на египетском рынке аналогичными продуктами как по ценам, так и по биоактивным свойствам.

Следует отметить, что естественные запасы этого ценного натурального биореаниматора в области позволяют полностью покрыть потребность египетского рынка. Вместе с тем на сегодняшний день ни одно из месторождений сапропеля в области не разрабатывается.

Основной задачей этого направления выступает:

- организация добычи сапропеля на оз. Лука во Владимирецком районе;
- проведение маркетинговых исследований относительно реализации местной продукции на рынках стран Африки и Аравии.

Стеклозаводное сырье. Основным компонентом рабочей массы для производства стекла являются кварцевые пески, которые характеризуются высоким содержанием кварца (98,5–99,8 %), незначительным количеством красителей, глинистых и пылеватых частиц, акцессорных минералов. Кроме основного компонента, в шихту добавляются доломит, известняк, мел, полевошпат, каолин и другие составные части.

В качестве стеклянных в области используются четвертичные флювиогляциальные и эоловые пески, которые широко распространены в северных районах области.

Разведаны два месторождения (числятся на балансе ООО «Рокитновский стеклозавод»): Рокитновское-I и Рокитновское-II с остаточными запасами около 1 млн тонн.

Рокитновское-I – месторождение стеклянных песков, разрабатывается с 1982 года. Пески использовались для производства банок емкостью 3 л и молочных бутылок – 0,5 л. Проектная мощность карьера 30 тыс. тонн песка. На данное время месторождение почти полностью отработано.

Сегодня производство ООО «Рокитновский стеклозавод» ориентировано на изготовление водочной и пивной стеклотары в количестве по 230 млн шт. в год. Введение в 2007 г. в эксплуатацию нового завода дало предприятию возможность удвоить выпуск стеклянной продукции. Для производства такого количества продукции годовая потребность завода в сырье составляет 50 тыс. тонн. И так, обеспеченность предприятия разведанными запасами рассчитана на добычу сроком до 20 лет.

Запасы стеклянного сырья могут быть значительно увеличены за счет разведывания новых месторождений на площадях развития флювиогляциальных песков.

Базальты. В полосе шириной 10–15 км, что протянута от г. Славута (Хмельницкая обл.) на юге до г. Вараш (Ровенская обл.) на севере, залегают базальты и туфы, доступные для открытой разработки. В ее границах в области разведаны 7 месторождений базальтов, из которых сегодня разрабатываются 5, в частности: Берестовецкое, Ивано-Долинское и Великомидское в Костопольском, Рафаловское и Польшское в Владимирецком районах. Оцененные Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) запасы базальтового сырья, пригодного для производства, в частности, буто-щебневой продукции, составляют 38 млн м³, базальтового волокна и минеральной ваты – около 400 млн тонн.

Полный комплекс исследований относительно использования базальтов как сырья для изготовления волокна и минеральной ваты проведен на Ивано-Долинском, Великомидском и Иванчивском месторождениях. На месторождениях, которые разрабатываются, базальты в основном используются для производства бутово-щебневой продукции, дорожного покрытия, шашек и т. п.

Наличие на Костопольских месторождениях базальтовых «столпов» позволяет осуществлять добычу блоков и изготавливать из них разные архитектурно-строительные изделия (памятники, монументы, полированную плитку, ступеньки и др.). Тем не менее развитие такого производства в области недостаточно [17, 18].

Основными задачами этого направления выступают:

- переоценка запасов Ивано-Долинского месторождения как сырья для промышленности, добычи блоков и др.;
- наращение добывающих работ на Великомидском месторождении;
- промышленное освоение месторождения Берестовец-I;
- отчуждение на конкурентных началах участка по производству теплоизоляционных материалов КП «Теплокомунсервис» Ровенского областного совета с целью привлечения инвестиционных средств на организацию производства современных теплоизоляционных материалов из базальтового сырья.

Туфы. На территории области туфы имеют широкое распространение, но их разведанные запасы подсчитаны лишь на одном – Иванчивском месторождении в Владимирецком районе, где они составляют 11,6 млн тонн. По оценочным подсчетам Ровенской геологической экспедиции, проточные ресурсы этого сырья в области превышают 60 млн тонн.

Продолжительное время туфы практического спроса не имели и при разработке месторождений базальтов шли в отвалы. В настоящее время установлено, что благодаря значительному содержанию сорбентов (50–60 %) туфы имеют ценные сорбционные, селективные и катионообменные свойства и могут использоваться в качестве:

- примесей к комбикормам со свойствами сорбции искусственных радионуклидов, вывод шлаков из организма животных, подкорм кормового рациона дефицитными для зоны Полесья микроэлементами (медь, ванадий, хром, марганец и др.);
- естественного неорганического сорбента-мелиоранта при проведении дезактивации грунтов в зоне радиоактивного загрязнения;
- естественного красителя-наполнителя при изготовлении масляных и силикатных красок коричневого цвета.

Основными задачами этого направления являются:

- поиски и оценка залежей цеолит-смектитового сырья с максимальным содержанием сорбентов;
- разведка месторождений и опытно-промышленную добычу цеолит-смектитовых туфов, раскрытых в действующих базальтовых карьерах;
- лабораторно-технологические испытания туфов, разработка технических условий на новые виды туфовой продукции.

Исследования цеолит-смектитовых вулканических туфов Ровенщины должны проводиться по отдельной областной программе.

Для практического использования туфового сырья не нужно обогащение. Приповерхностные условия залегания позволяют добывать туфы открытым способом, в первую очередь со дна отработанных базальтовых карьеров без затрат на раскрывные работы. Наличие подъездных путей и горнодобывающей инфраструктуры на действующих базальтовых карьерах также удешевляют эксплуатацию туфов.

О рентабельности промышленного освоения туфового сырья на Ровенщине свидетельствуют технико-экономические показатели добычи аналогичных цеолит-сапонитовых туфов на Ташковском месторождении, которое разведано и успешно эксплуатируется в соседнем Славутском районе Хмельницкой области [19–23].

Камень строительный. Разведанные на территории области запасы строительного камня обеспечивают дальнейшее развитие производства бетоно-щебневой продукции. Всего в области известно 35 месторождений кристаллических пород: гранитов, диоритов, гранодиоритов и габбро, из которых 25 разрабатывается. По последним данным, запасы строительного камня составляют около 500 млн м³. При сегодняшней добыче (до 3,0 млн м³) и существующих производственных мощностях перерабатывающие предприятия обеспечены сырьем более чем на 150 лет. В сравнении с 1990 г. добыча строительного камня сократилась в 3 раза, а 6 предприятий вообще прекратили производственную деятельность по выпуску щебеночной продукции. Такой спад производства объясняется прежде всего значительной изношенностью производственного оборудования, отсутствием средств у потребителей и неконкурентоспособностью продукции за пределами края.

В плане будущего развития автотранспортной системы Украины предполагается строительство трех автомагистралей, которые будут проходить по территории Ровенской и сопредельных с ней областей. Строительство будет требовать производства большого количества качественного, высокопрочного кубовидного щебня.

На разведанных месторождениях (как разрабатываемых, так и законсервированных и резервных) планируется наладить выпуск именно такой продукции в необходимых количествах. Наиболее перспективными являются месторождения гранитов, которые расположены в 50–100-километровой зоне от прохождения будущих автомагистралей, их использование даст возможность в короткий срок и с наименьшими финансовыми затратами организовать производство.

Основными задачами этого направления можно назвать следующие:

– реконструкция действующих камне-щебневых заводов, приобретение нового производственного оборудования, которое даст возможность как увеличить производственные мощности КСЗ, так и улучшить качество продукции, которая вырабатывается;

– восстановление добычи и производства щебеночной продукции на месторождениях в Корецком районе, которые расположены близ автомагистрали Киев – Чоп, и двух месторождениях (Клесовское-III и Усиков Груд) в Рокитновском районе;

– использование отсевов, измельченных гранитов и базальтов для изготовления вибропрессованных бетонов, покрытия рулонных материалов, штукатурных смесей.

Облицовочный камень. На востоке области в доступной для карьерной добычи глубине расположены массивы габбро, диоритов и гранитов, которые характеризуются высокими декоративными свойствами.

Среди гранитов наибольший практический интерес имеют их массивы в Сарненском и Корецком районах, в пределах которых детально разведаны месторождения: Клесовское, Осмалинское, Церковное, Выривское и Корецкое.

Месторождения темного декоративного камня: Кисорицкое в Рокитновском, Ясногорское – в Сарненском и Брониславское – в Березновском районах, представленные диабазами и габброидами.

Суммарные запасы облицовочного камня превышают 15 млн м³ горной массы. Они позволяют создать мощные производства высококачественной полированной и шлифованной продукции, которая пользуется стойким спросом на внутреннем и мировом рынках.

Основными задачами этого направления являются:

– наращивание мощностей добычи блоков гранитов и габбро на Кисорицком, Ясногорском и Осмалинском месторождениях;

– введение в эксплуатацию Корецкого и Церковного месторождений гранитов.

Карбонатное сырье представлено мелом и известняками, которые имеют широкое распространение в южной и западной частях области – в Радивилевском, Дубновском, Млыновском, Ровенском и Костопольском районах.

На 6 разведанных месторождений запасы мела составляют примерно 300 млн тонн. На одном из них (Здолбуновском) базируется крупнейший в Украине цементно-шиферный комбинат ОАО «Волынь-Цемент».

Мел не только является высококачественным сырьем для производства портландцемента, но и широко используется в лакокрасочной, резиновой, бумажной, химической, стеклянной и других областях промышленности. Но наиболее важное значение для промышленности строительных материалов мел имеет как сырье для изготовления извести и для известкования кислых грунтов.

Любомирское месторождение разрабатывается ООО «Любомирский известково-силикатный завод». Еще два другие (Клеванское и Крупецкое) раньше эксплуатировались строительными организациями. Они изготавливали из мела маломagneзийную термостойкую известь I и II сорта.

Корнинское и Вишневогорное месторождения не разрабатываются.

Добыча мела для выжигания извести может быть значительно увеличена за счет введения в эксплуатацию резервных разведанных месторождений (Вишневогорного и Клеванского), а также за счет детального разведывания Грушевского месторождения в Сарненском районе.

Кроме того, в области геологически обследованы 16 месторождений мела, которые могут использоваться для известкования кислых грунтов. Общие запасы мела составляют 9805 тыс. тонн.

Таким образом, основными задачами этого направления выступают:

- восстановление добычи мела и производства извести на Крупецком месторождении;
- расширение сырьевой базы мела за счет детального разведывания указанных месторождений;
- организация производства товарной меловой муки и сухих строительных смесей на ее основе, а также белого технического мела как наполнителя полимеров, резины, красок.

В Лубенском районе детально разведаны три месторождения маломощных известняков местного значения, запасы которых составляют около 1700 тыс. м³. Все три месторождения находятся в пределах Лубенской структурно-скульптурной гряды и примыкают к невысоким субмеридианальным холмам, составленным из неогеновых отложений.

Известняки используются в дорожном строительстве для устройства и ремонта пластов верхнего покрытия дорог. Основными задачами этого направления являются:

- завершение фермерским хозяйством «ДИЛ» геологоразведочных работ на Варковицком месторождении;
- наращение ООО «Гранит» добычи известняков на месторождении Семидубское-II;
- введение ООО «Дубно-добыча» в эксплуатацию Грядковского месторождения.

Кирпичное сырье. В области разведаны 53 месторождения кирпичного сырья, промышленные запасы которых представляют около 40,0 млн м³. В 90-х годах добыча велась на 38 месторождениях области, и действовало 36 кирпичных заводов, на которых было изготовлено 225 млн штук кирпича.

В 2005 г. разработка кирпичной продукции осуществлялась лишь на 10 месторождениях. Заводами добыто 70,8 тыс. м³ глин и суглинков и изготовлено 31,3 млн шт. кирпича.

Изложенное свидетельствует о том, что использование производственных мощностей области составляет 14 %. При условии максимального использования кирпичных заводов, с учетом реконструкции некоторых из них, введением новых мощностей они обеспечены сырьем на срок более 30 лет. Тем не менее не имеют разведанных запасов следующие заводы: Брищанский, Городецкий, Загорцовский, Пляшевский, Ровенский, Хотынский. Есть трудности в обеспечении заводов пластифицирующими примесями, которые необходимы для производства кирпичной продукции высоких марок.

Сложными являются вопросы отвода земельных участков под расширение карьеров для добычи кирпичного сырья, так как значительная часть запасов находится под паевыми землями.

Основными задачами этого направления можно назвать:

- проведение детального разведывания на предварительно разведанных месторождениях, расположенных не на пашне или малопродуктивных землях;
- завершение геологоразведочных работ на Жалянском месторождении высокопластических глин в Ровенском районе;
- восстановление ООО «Ровенский комбинат строительных материалов» добывающих работ на Верховском месторождении суглинков и месторождении глин Хотыньское-II;
- восстановление производства кирпичной продукции на Бутовском, Долгошиивском, Сварицевицком, Симоновском и Хотыньском заводах.

Пески строительные. Естественные пески широко используются в дорожном строительстве, являются заполнителями для бетонных смесей, используются как наполнитель для строительных растворов и производства силикатного кирпича и для других изделий.

В области зарегистрированы 52 месторождения строительных песков, из них 20 детально разведаны и считаются на балансе, 17 разведанные предварительно и 15 относятся к тем, которые периодически разрабатываются без геологического их изучения. Промышленные запасы строительных песков составляют до 56 млн м³. С 20 месторождений, состоящих на балансе, лишь 5 разрабатываются.

Добыча песков осуществляется Ровенской АЭС на Сопачовском месторождении во Владимирецком районе, ООО «Любомирский ИСЗ» – на Любомирском в Ровенском, фермерским хозяйством «Маричка» – на Малолубашском в Костопольском и ООО «Нерудпром ЛТД» – на Коршовском в Здолбуновском районе. Тем не менее у строительных организаций г. Ровно острой проблемой стало обеспечение песком заводов, изготавливающих строительные растворы и особенно бетонные смеси.

Основными задачами этого направления являются:

- проведение поисковых работ и детального разведывания месторождений песков в 30-километровой зоне вокруг г. Ровно;

- введение ООО «Любомирский известково-силикатный завод в эксплуатацию Ричицкого месторождения песков, которое расположено на территории военного полигона;
- наращивание объемов добычи песка на Малолюбашском месторождении в Костопольском районе.

Минеральные воды. Из минеральных вод наибольшее распространение в области имеют хлоридно-натриевые питьевые воды миргородского типа, запасы которых разведаны в селах Жобрин, Александрия Ровенского, поселке Степань Сарненского районов и г. Остроге.

В Лубенском районе найдены сульфатно-натриевые воды питьевого назначения с минерализацией 3–6 г/дм³.

Радоновые минеральные воды встречаются близ сел Виры Сарненского и Марины Березновского районов. А разведанные запасы радоновых вод в г. Корец составляют 280 м³/пор при концентрации 20 нКН/дм³.

Бальнеологические свойства вод и малозатратность их добычи – основа будущего развития этой перспективной области.

В настоящее время на трех месторождениях, в частности Жобринском, Острожском и Степанском, осуществляются добыча и промышленный разлив минеральных лечебно-столовых вод в стеклянную посуду и полиэтиленовую тару для внутреннего применения.

Радоновые воды Корецкого месторождения используются Корецкой областной больницей для лечения опорно-двигательной системы.

Итак, ресурсы подземных минеральных вод заслуживают на дальнейшие исследования и использование. Основными задачами этого направления выступают:

- завершение геологоразведочных работ на Мошківском месторождении минеральных вод в Млыновском и Надслучанском в Березновском районе;
- увеличение выпуска минеральной воды в ПЭТ-бутылках ООО «Острожский завод минеральных вод» на 20–25 %;
- восстановление добычи и производства минеральной воды на Маломидском месторождении в Костопольском районе.

Фосфогипсовое сырье – это отходы производства ООО «Азот», на территории которого накоплено 15,4 млн тонн фосфогипсодигидрата на площади 58 га.

Исследования Национального университета водного хозяйства и природопользования показали, что при термической обработке фосфогипса можно получить гипсовое вяжущее марок F0, 7-F2, на основе которого изготавливать широкую номенклатуру сухих смесей и гипсовых изделий.

Основные задачи этого направления:

- оценка запасов естественного окисления фосфогипсового сырья;
- разработка технологии изготовления строительного изогипса на основе местного фосфогипсового сырья;
- исследовательская добыча и лабораторно-технологические испытания фосфогипсового сырья.

5.3. Организационно-техническое обеспечение

Организационное обеспечение и координация выполнения программы развития минерально-сырьевой базы области осуществляется специальной постоянно действующей областной рабочей группой по координации вопросов эффективного использования природных ресурсов при участии руководителей горнодобывающих предприятий области и районных органов исполнительной власти соответственно их полномочиям.

Выполнение Программы осуществляется государственными геологическими предприятиями, горнодобывающими предприятиями области, а также субъектами других форм собственности.

Для успешного выполнения предусмотренных Программой задач необходимо решить проблему технического переоснащения горнодобывающих предприятий области. Сегодня более чем 70 % оборудования щебеночных заводов отработали свой амортизационный срок и вообще не являются конкурентоспособными по сравнению с западными аналогами, следовательно необходимо значительное увеличение затрат на производство строительной продукции.

Финансирование реализации Программы осуществляется за счет средств государственного бюджета, средств горнодобывающих предприятий, местных бюджетов и других источников.

Бюджетные средства на реализацию мероприятий Программы предполагаются на проведение приоритетных направлений геологоразведочных работ (относительно самородной меди, алмазов, янтаря и зернистых фосфоритов). Эти средства предусмотрены Общегосударственной программой развития минерально-сырьевой базы Украины. Они обеспечиваются за счет средств специального

фонда государственного бюджета, источником формирования которого является сбор за геологоразведочные работы, выполненные за счет государственного бюджета.

Финансирование исследований цеолит-сметкитовых вулканических туфов Ровенщины осуществляется на средства областного бюджета, предусмотренные на реализацию Программы научно-технического и инновационного развития Ровенской области.

Результатами реализации Программы развития минерально-сырьевой базы области являются:

– введение в эксплуатацию известных и открытие новых месторождений местного сырья, янтара, зернистых фосфоритов, сапонитовых туфов и дефицитных строительных материалов;

– технологическое усовершенствование действующих горнодобывающих предприятий области, которое приведет к повышению экономической эффективности их производства, качества и конкурентоспособности готовой продукции;

– открытие в области новых горнодобывающих предприятий, создание собственного производства необходимых видов минерального сырья, которое ввозится из других областей и стран, в частности, облицовочного керамического кирпича, фосфоритов, блочного камня;

– привлечение в горнодобывающую область Ровенской области средств из государственного бюджета и от потенциальных инвесторов [24–26].

Таблица 5.3

Показатели использования минерально-сырьевых ресурсов Ровенской области

№ п/п	Виды полезных ископаемых	Количество месторождений			Выдано лицензий
		всего	считается на учете	Освоено промышл. участков	
1	Торф	339	48	10	10
2	Агрохимическое сырье (фосфориты)	1	1	-	1
3	Карбонатное сырье для известкования кислых грунтов	14	-	-	-
4	Полевой шпат	3	3	1	1
5	Каолин	3	3	1	1
6	Цементное сырье	12	6	2	2
7	Стеклопесок	2	2	2	2
8	Мел строительный	6	4	1	1
9	Камень облицовочный	13	8	4	5
10	Камень строительный	38	35	25	25
11	Известняки для дорожного строительства	3	2	1	1
12	Песок строительный	52	20	5	5
13	Кирпичное сырье	53	49	17	9
14	Сырье для производства минеральной ваты	5	3	2	1
15	Драгоценный камень (янтарь)	2	2	1	2
16	Минеральные воды	6	4	4	3
17	Пресные воды	33	33	8	5
18	Сапропель	37	19	-	-
	Всего:	622	242	84	74

Глава подготовлена в НУВХП коллективом авторов под редакцией доктора технических наук, профессора кафедры разработки месторождений и добычи полезных ископаемых Зиновия Романовича Маланчука. Авторы: кандидат технических наук, доцент В. Я. Корниенко, доктор технических наук, профессор Е. З. Маланчук, кандидат технических наук, доцент Р. В. Жомирук, кандидат экономических наук, доцент И. З. Игнатюк, кандидат экономических наук, доцент Л. А. Маланчук, ст. преподаватели Л. М. Сольвар, С. З. Мощич, магистр С. С. Романчук.

При написании данной главы авторы использовали данные статотчетности Ровенской ОГА, ДП «Пивничгеология», а также результаты собственных научных исследований.

Литература

1. Справочник по петрографии Украины (магматические и метаморфические породы) / под ред. И. С. Усенко. – Киев: Наук. думка. 1975. – 579 с.
2. Черней Э. И., Постоловский Р. М., Маланчук З. Р. Принципы Концепции комплексного промышленного освоения недр Ровенской области // Вестник РГТУ: сб. науч. тр. (Ровно). – 2000. – Вып. № 2. – С. 107–113.

3. Мельничук В. Г. Порівняльна характеристика Волинського та Мічманського міднорудних районів // Сучасний стан і задачі розвитку районних геологічних досліджень : матер. III наук.-вироби, наради геологів-зйомщиків України. – Львів, 2005. – С. 183–187.
4. Пересадько М. П., Косовський Я. О. Самородне зруденіння у трапах Волині // Сучасний стан і задачі розвитку районних геологічних досліджень : матер. III наук.-вироби, наради геологів-зйомщиків України. – Львів, 2005. – С. 205–206.
5. Типи самородномідної мінералізації в трапах Волині та оцінка їх перспективності / В.Г. Мельничук [та ін.] // Геологічна наука та освіта в Україні на межі тисячоліть: стан, проб, є перспективи : матер. наук. конф. – Львів: ЛНУ, 2000. – С. 117–122.
6. Міденосні лавобрекції в трапах Волині та механізм їх утворення / В.Г. Мельничук [та ін.] // Геологічна наука та освіта в Україні на межі тисячоліть: стан, проблеми, перспективи : матер. наук. конф. – Львів: ЛНУ, 2000. – С. 115–116.
7. Пастухов О. В., Гнеушев В.О., Стадник О.С. Аналіз основних загальнотехнічних властивостей торфів рівненської та волинської областей // Вісник НУВГП : збірник наук. праць. – Вип. 4 (64) 6 Технічні науки. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 424–430.
8. Игнатюк И. З., Тимошук И.И. Организационно-экономический механизм реабилитации торфяных месторождений Украины // Актуальные вопросы современной экономической науки : сб. докл. XVIII Междунар. науч. конф. (Липецк, 21 нояб. 2014 г.). – Липецк, 2014. – С. 49–52.
9. Беляков В. А., Смирнов В. И. Организация технологического процесса добычи торфа : учеб. пособие. – Тверь: ТГТУ, 2006. – 100 с.
10. Аналіз стану мінерально-соровинної бази України, облік родовищ і складання державних балансів запасів торфу і сапропелю станом на 01.01.2003-2005 років / Звіт про наук.-досл. роботу. Титул 24/03, Держ. наук.-вироб. підприємство, Держ. Інформ. Геологіч. фонд України «Геоінформ України». – Київ, 2005. – 45 с.
11. Перспективи видобутку міді та супутніх металів в Рівненсько-Волинському регіоні України / З. Р. Маланчук [та ін.] // Вісник НУВГП: зб. наук праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип. № 1(61). – С. 3–11.
12. Корнієнко В. Я. Аналіз сучасних технологій та вибір обладнання для вилучення бурштину із піщаних родовищ з найменшим техногенно-екологічним впливом на навколишнє середовище // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – Рівне, 2007. – № 2 (38). – С. 352–358.
13. Высокоэффективная технология добычи янтаря из песчаных месторождений / З. Р. Маланчук [и др.] // Полифункциональные химические материалы и технологии : сб. тез. Т. 2 / под ред. В. В. Козика, Г. М. Мокроусова. – Томск: Изд. Дом ТГУ, 2013. – С. 45–46.
14. Malanchuk Z., Korniyenko V. Modern condition and problems of extraction of amber in Ukraine // Canadian Journal of Science and Education. – 2014. – №2 (6), July-December. – Vol. I. – P. 372–376.
15. Маланчук З. Р., Корнієнко В. Я. Современное оборудование для добычи янтаря из песчаных месторождений // Глобализация науки: проблемы и перспективы : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 13 окт. 2014 г.). – Уфа: РИО МЦИИ Омега Сайнс, 2014. – С. 41–42.
16. Корнієнко В. Я. Перспективи та сучасний стан видобутку бурштину в Україні // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – Вип. 3 (67). – Рівне, 2014. – С. 127–133.
17. Malanchuk Z., Malanchuk E. Experience in the use of products processing of basalt raw material in Ukraine // American Journal of Science and Education Research. – 2014. – № 2 (5), July-December. – P. 642–648.
18. Malanchuk Z., Malanchuk E. The analysis of the state of the question on the content of nonferrous metals in basalt raw materials Volyn region of Ukraine // Canadian Journal of Science and Education. – 2014. – № 2 (6). – P. 361–365.
19. Стець С. Є. Класифікація родовищ туфів за фізико-хімічними властивостями та мінералогічним складом // Матеріали VI ежегод. промышл. конф. – Киев, 2006. – С. 191–196.
20. О применении цеолитов в земледелии ряда зарубежных стран : инфор. материал / Всесоюзный НИИ информации и технико-экономических исследований АПК. – М., 1988. – 11 с.
21. Мельничук В. Г., Матеюк В. В. Туфи Волино-Поділля як новий вид мінеральних ресурсів // Проблеми раціонального використання, охорони і відтворення природно-ресурсного потенціалу України : тез. II Всеукр. наук.-метод. конф. – Чернівці : Рута, 2000. – С. 133–134.
22. Мельничук В. Г. Мінеральні ресурси трапової формації Волині // Природні ресурси Волині. Результати фундаментальних досліджень (1999–2003 рр.) : матер. наук. конф. / Наук. вісник Волинського державного університету. – Луцьк, 2004. – Вип. 1. – С. 90–92.
23. Жомирук Р. В., Матус С. К. Методи захисту навколишнього середовища від забруднення відходами гірничого виробництва // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях : тезисы доп. Міжнар. пром. конф. – Славське, Карпати, 2007. – С. 79–81.
24. Утилізація твердих побутових відходів : навч. посібник / М. О. Клименко [та ін.]. – Рівне, 2010. – 304 с.
25. Стащук В. А., Рокочинский А. Н., Клименко Н. О. Защита от загрязнений ландшафтов отходами с использованием сорбентов : монография. – Херсон : Изд-во Гринь Д.С., 2014. – 419 с.
26. Shershun M., Moschych S., Tymoshuk I. Ecological-economic problems of development of the peat industry in Ukraine // British Journal of Science and Education. – London, 2015. – № 1.

Глава 6. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

6.1. Гидрографические характеристики территории

На сегодняшний день для характеристики поверхностных вод на территории Украины используют гидрологическое и ландшафтно-гидрологическое районирование.

Гидрологическое районирование осуществляется на основе оценки общих физико-географических признаков (климат, рельеф, растительность, почвы и т. п.) и гидрологических особенностей территории (питание, норма стока, годовое распределение стока и т. п.). Гидрологическое районирование дает возможность выявить пространственные закономерности формирования стока и режима поверхностных вод, которые необходимы для многоцелевого использования водных ресурсов на территории. Согласно исследованиям [1, 2, 3] территория Украинского Полесья входит в гидрологическую зону чрезмерной и достаточной водности. Зона чрезмерной водности включает две **гидрологические области**: Полесскую и Деснянскую. Территория Полесья также охватывает северную часть Западной области достаточной водности (Волынская подобласть достаточной водности) (рис. 6.1) [1]. Характеристики гидрологического режима были оценены к началу 90-х годов XX века.

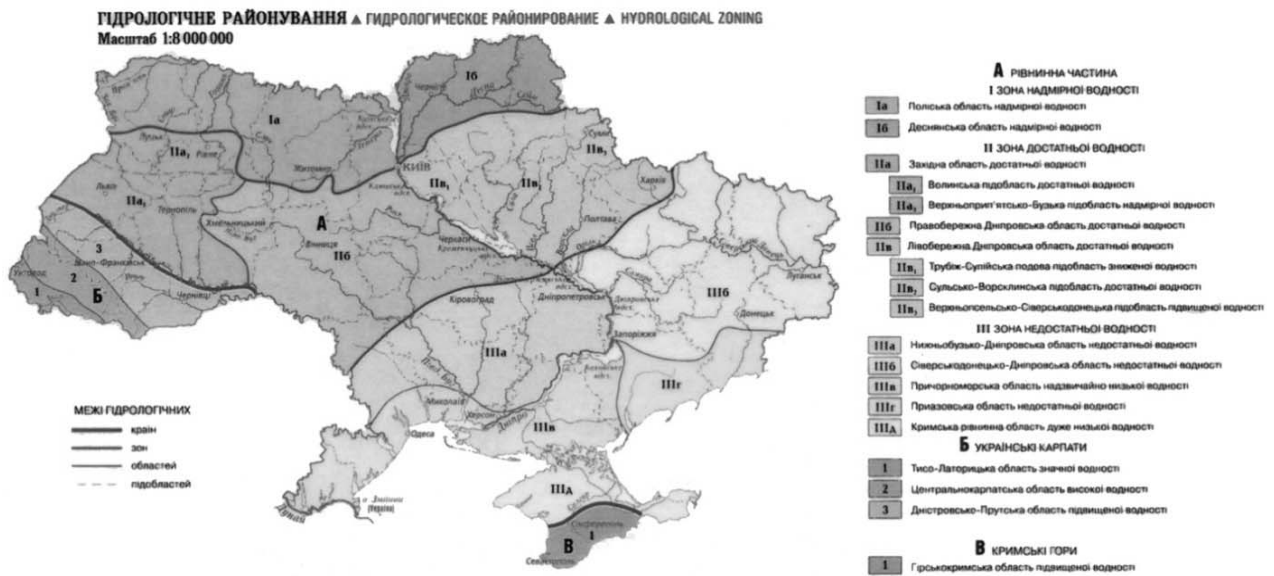


Рис. 6.1. Гидрологическое районирование территории Украины

Гидрологическая зона чрезмерной области отвечает большей части зоны смешанных лесов и включает в себя бассейны правых притоков Припяти и бассейн Десны. В зоне протекает река Днепр от северной границы Украины к Киеву. Выше Киева находится большое водохранилище, которое влияет на гидрологический режим Днепра. Наибольшими притоками Днепра на этом отрезке являются Припять и Десна. Правые притоки Припяти – Турья, Стоход, Стырь, Случь, Горынь, Уборть и Уж имеют широкие заболоченные долины, которым принадлежит значительная роль в естественной среде Полесья. Притоки р. Днепр выше Киева – Тетерев, Ирпень, Десна.

В пределах чрезмерной области выделяют Полесскую и Деснянскую гидрологические области. Густота речной сетки 0,25–0,5 км/км², в частности на территории Ровенской и Житомирской областей данный показатель увеличивается до 0,7 км/км² (рис. 6.1) [1].

Наклон рек – до 1 м/км. Лишь в бассейнах Словечны и Ильи этот показатель немного более высок, в бассейне Головесны (бассейн Десны) наклон достигает 4,6 м/км. Для рек гидрологической зоны характерны широкие и неглубокие (до 10–20 м) долины, часто заболоченные. Скорость течения до 0,2–0,5 м/с. Заболоченность в пределах Полесской низменности в среднем 6,3 %, кое-где – 20–30 %. У восточной части гидрологической зоны чрезмерной области заболоченность уменьшается к 2–6 %. Питание рек смешанное, на востоке часть подземного питания составляет 20–30 %. Норма годового стока на востоке территории области изменяется в пределах от 4,5 до 3,0 л/ (с·км²). Сток формируется неравномерно – 50–90 % его проходит весной, 10–20 % – зимой, 5–10 % приходится на летне-осенний период. Ледостав устанавливается в конце ноября – начале декабря и длится до середины марта. Мутность речных вод невысокая – от 20–50 до 200–300 г/м³ (в паводковый период). Минера-

лизация речных вод невысокая – до 200 мг/л, в отдельных бассейнах – 350–400 мг/л. Обеспеченность водой этой части зоны (на 1 км² приходится 75–100 тыс. м³).

Полесская гидрологическая область относится к западной части гидрологической зоны чрезмерной водности. Охватывает большую часть территории Волынской, Ровенской, Житомирской и Киевской областей. Включает бассейны правых притоков Припяти – рр. Выжевка, Турья, Стоход, средние и нижние течения рр. Стыра, Горыни, Случа, а также Ужа и Тетерева без его верхней части. Речная сетка развита умеренно (0,25–0,5 км/км²). Реки врезаны на глубину 5–10 м, их долины заболочены, течения медленны. Наклон рек составляет 0,3–0,8 м/км, лишь в отдельных случаях превышает 1 м/км (реки Словечна, Илья). Лесистость водосборов достаточно высокая, уменьшается с запада к востоку от 55 % до 2–12 %. Заболоченность близка к 10 %, в бассейне Стохода увеличивается к 22 %. Питание рек смешанное, с преобладанием снежного (50–60 % от речного стока). Значительная часть подземного питания – до 30–40 % (реки Стырь, Горынь). Норма годового стока на территории области изменяется в пределах от 4,5 до 2,5 л/ (с·км²). Наибольшая часть годового стока (65–90 %) приходится на весенний период, 5–10 % – на летне-осенний и 10–20 % – на зимний. Максимальные расходы наблюдаются во время половодья, лишь в небольших бассейнах могут формироваться во время дождевых паводков. Ледостав устанавливается в конце ноября – начале декабря и длится до середины марта. Вскрываются реки в течение марта в среднем в Полесском гидрологическом районе (20.03). Мутность речных вод области небольшая, изменяется в пределах 30–50 г/м³; минерализация составляет преимущественно до 200 мг/л.

Деснянская гидрологическая область охватывает территорию Черниговской и северо-западную часть Сумской областей. Включает Десну и ее притоки (Ивотка, Клевень, Убедь, Сейм, Снов). Речная сетка, развитая умеренно, самая густая в восточной части области – 0,3–0,4 км/км². Реки имеют широкие долины, заводи часто заболочены, много озер и стариц. Наклон рек 0,2–1 м/км, лишь в отдельных случаях возрастает до 4,6 м/км (р. Головесня). Лесистость водосборов в среднем 2–12 % (в бассейне Ивотки и Шостки увеличивается до 30–40 %), заболоченность сверх 10 %. Питание рек смешанное, с преобладанием снежного. Водность в пределах области – 3–3,5 л/ (с·км²), в восточной ее части растет до 5–5,8 л/ (с·км²). Весной проходит до 50–70 % речного стока, летом и осенью – 15–25 %, зимой – 10–12 %. Ледостав устанавливается в начале декабря и длится до середины марта. Вскрываются реки в Деснянском гидрологическом районе в течение марта в среднем (25.03). Мутность речных вод в пределах гидрологической области невысокая – 20–50 г/м³ (в межень). Минерализация составляет преимущественно до 300–340 мг/л. Водные ресурсы Деснянской гидрологической области пригодны для комплексного использования, имеют высокие питьевые качества (в частности, Десна – один из основных источников водоснабжения города Киева) [3, 4].

Западная гидрологическая область зоны достаточной водности охватывает часть Волынской, Ровенской, Хмельницкой, Львовской областей. Территория Малого Полесья отвечает Верхне-припятско-Бугской подобласти чрезмерной водности. Она включает верховья Западного Буга, Стыра, Горыни, Случа. Коэффициент густоты речной сетки составляет 0,6–0,8 км/км². Лесистость водосбора до 20 %. Заболоченность водосбора рек составляет 15–20 %. Часть талых снежных вод в питании рек в целом составляет 40–50 %. Водность в пределах области изменяется от 3,8 до 7,2 л/ (с·км²). Расчетные максимальные расходы 60–230 м³/с. Весной проходит 40–50 % речного стока, в летне-осенний период – 30–40 %, зимой – 15–27 %.

Ледостав начинается с декабря и до середины марта. Средняя мутность речных вод в бассейне Припяти 30–50 г/м³. Минерализация воды 380–410 мг/л. Количественные характеристики отдельных показателей водного режима и гидрографические характеристики для отмеченных гидрологических областей также приведены в таблице 6.1 [2].

На сегодня проведено современное *ландшафтно-гидрологическое районирование (ЛГР)* территории Украины [5]. При этом был использован ландшафтно-гидрологический анализ территории, который предусматривает процедуру факторного анализа гидрологических процессов с целью выделения ландшафтно-гидрологических систем в стокоформирующие комплексы. Конечным результатом такого выделения является ландшафтно-гидрологическая типология определенной территории и ее ландшафтно-гидрологическое районирование (рис. 6.2), которое проводилось с помощью кластерного анализа.

Были использованы предикторы, которые разделены на четыре блока. Первый блок включает основные характеристики рек и водосборов: географические координаты средневзвешенного центра водосбора; длину рек от истока к створу гидрологического поста; площадь водосбора, ограниченную створом данного поста; наклон реки от истока к створу поста; средний наклон водосбора выше гидропоста; среднюю высоту водосбора; густоту речной сети в данном бассейне.

Количественные характеристики отдельных показателей водного режима и гидрографические характеристики для гидрологических областей Украинского Полесья

Гидрологические области	Норма среднего годового стока, л/(с·км ²)	Средний месячный минимальный сток, л/(с·км ²)	Внутригодовое распределение стока (в средний за водно-стью год), %				Осадки, мм	Коэффициент стока	Наклон рек, %	Лесистость, %	Заболоченность, %
			Весна	Лето	Осень	Зима					
Полесская	3,5	0-0,67	73	7	9	11	550	0,20	1,0-0,3	4-55	10
Деснянская	4,6	0,01-0,69	58	13	13	16	550	0,27	4,6-0,2	1-44	1
Верхнеприпятско-Бугская подобласть	3,5	0,02-1,46	49	14	14	23	575	0,19	2,4-0,7	1-2,0	10



Рис. 6.2. Схема ландшафтно-гидрологического районирования Украины (по В. В. Гребиню)

Второй блок образуют физиономические показатели, которые характеризуют поверхность водосбора: лесистость бассейна, заболоченность водосбора. Третий блок отображает влияние хозяйственной деятельности: распаханность водосбора; удельную площадь искусственных водоемов; отношение полезного объема искусственных водоемов в пределах водосбора к объему среднего многолетнего стока в створе поста. Четвертый блок включает климатические характеристики, которые влияют на формирование водного баланса: норму максимально возможного испарения; норму годовых осадков. Отмеченные четыре блока факторов связывались с зависимыми стоковыми характеристиками в виде среднего многолетнего модуля годового бытового стока, нормами годового климатического стока и нормами годового бытового стока, которые выражены в слое стока. Климатические характеристики и основные стоковые характеристики, которые были использованы для районирования, получены за период наблюдений в 1951–2008 гг.

Согласно ЛГР территория Украинского Полесья полностью охватывает Припятскую ландшафтно-гидрологическую провинцию (I-1) и Деснянскую ландшафтно-гидрологическую провинцию (I-2). Кроме этого, южная часть Украинского Полесья (по принятому физико-географическому районированию) включает прилегающие территории: Волынский высотный ландшафтно-гидрологический район (II-1-a) Бугско-Днестровской гидрологической провинции, а также Подольско-Приднепровский высотный ландшафтно-гидрологический район (III-1-a) и Центрально-Днепровский высотный ландшафтно-гидрологический район (III-1-b) Днестровско-Днепровской ландшафтно-гидрологической провинции (рис. 6.2). Ниже приведена короткая характеристика ландшафтно-гидрологических провинций.

Припятская ЛГП охватывает верховье Припяти (к госгранице), бассейны рр. Выжевки, Турьи, Стохода, среднего и нижнего течения Стыра, Горыни и Случа, бассейны Уборти и Ужа, а также сред-

него и нижнего течения р. Тетерев. Провинция размещена в пределах Припятского Полесья и характеризуется развитием смешанно-лесных, пойменных лучно-болотных ландшафтов, равнинно-зандровых и долинно-зандровых заболоченных местностей [3, 4, 6]. В южной части преобладают местности денудационные волново-равнинные. Реки врезаны на глубину 5–10 м, долины их слабо выражены, заболочены, течение медленное. Норма годового климатического стока изменяется от 120 до 160 мм [7].

Деснянская ЛГП включает бассейны р. Десна и ее притоков в пределах Украины (рр. Ивотка, Клевень, Есмань, Убедь, Сейм, Снов и др.).

Самыми распространенными генетическими видами ландшафтов являются холмистые морено-ледниковые и волновые водно-ледниковые равнины, слабоволновые сниженные древнеаллювиальные равнины с проходными долинами [8]. Территория характеризуется плоским рельефом с отдельными повышенными островами лесса, часто порезанными многочисленными балками и ярами. Норма годового климатического стока составляет от 100 до 140 мм.

Бугско-Днестровская ЛГП охватывает верховья Западного Буга, Стыра, Горыни, а также бассейны левых притоков Днестра по р. Стырь включительно. Расположена в пределах Волынской и Подольской (Розтоцко-Опильской ее части) возвышенностей. Самыми распространенными естественными комплексами провинции являются широколиственно-лесные [2]. В пределах области Малого Полесья преобладают плоские, усложненные западинами и эоловыми горбами междуречья. Норма годового климатического стока достигает 160 мм.

Сопоставив картосхемы гидрологического и ландшафтно-гидрологического районирования Украины, можно сделать вывод о территориальном подобии для Украинского Полесья гидрологических областей и ландшафтно-гидрологических провинций. Для оценки гидрографических характеристик и показателей водного режима нами было использовано как гидрологическое, так и ландшафтно-гидрологическое районирование.

Гидрографическая сеть и ее строение зависят от климатических условий (в первую очередь от количества осадков и испарения), рельефа, геологического строения, характера почв и растительного покрова. Современная гидрография территории Украинского Полесья – это извилистые, спокойные реки и большое количество прямых мелиоративных каналов, выпрямленных рек, а также разных водоемов естественного и искусственного происхождения и болот.

Для бассейнов рек Украинского Полесья характерна гидравлическая связь с соседними реками. При этом она может носить как искусственный, так и естественный характер.

Основными гидрографическими характеристиками рек, которые указывают на особенности развития процессов формирования речной системы и поверхностного стока являются: длина и наклон реки, площадь, ширина и наклон водосбора, густота речной сети.

Анализ гидрографических характеристик рек Полесской гидрологической области был проведен НУВГП в исследованиях перспектив использования речного стока на Припятском Полесье и его качестве [9, 10] (табл. 6.3).

Показателем разветвленности речной сети является густота речной сетки, которая выражается коэффициентом густоты речной сети. Он определяется количеством рек, их длиной и площадями водосбора. Густота речной сети на территории Украинского Полесья изменяется в широких пределах от 0,21 до 0,7 км/км² (рис. 6.3) [1]. Значительной плотностью речной сети отличается Полесская гидрологическая область, в отличие от Деснянской гидрологической области, где густота речной сети составляет 0,5 км/км². На территории Полесской гидрологической области наибольшие коэффициенты густоты речной сети наблюдаются в Центральном Полесье, а наименьшие их значения – на Западном Полесье. Это обусловлено повышенным расчленением территории в Центральном Полесье. Территориально густота речной сети в Западном Полесье изменяется в меридианальном направлении, в отличие от Центрального Полесья, где характерным является широтное распределение. Наименьшие значения коэффициента речной сети наблюдаются в бассейнах рек Турьи, Стохода, Стыра, Львы, где его значения не превышают 0,29 км/км².

Из общей длины учтенных рек преобладают малые реки. Современные исследования гидрографической сети для данной территории были проведены в бассейне Припяти [11]. Здесь протекает 4429 водотоков, из них 4010 являются реками с длиной менее 10 км. Суммарная длина малых рек здесь составляет 56 % от их общей длины (табл. 6.2). Суммарная длина малых рек составляет 20 075 км, в том числе длиной менее 10 км – 11 304 км.

Анализ данных таблицы 6.2 показывает, что наибольшее количество малых рек принадлежит самым большим бассейнам притоков Припяти, таким как Горынь (2255) и Стырь (581). Наименьшее количество водотоков принадлежит речным водосборам Словечны (27) и Львы (63). Что касается основных украинских притоков р. Припяти, то наибольшими из них являются реки Горынь, Стырь и

Уж. Значительная часть водосборов этих притоков полностью находится на территории Украины, и только Стырь, Горынь, Ствига, Льва и Словечна имеют статус трансграничных [11].



Рис. 6.3. Гидрографическая сеть Украины

Таблица 6.2

Речная сеть украинской части бассейна р. Припять [11]

Название реки	Площадь бассейна, км ²	Длина, км	Количество малых рек			Суммарная длина малых рек		Суммарная длина малых рек (длиной менее 10 км), км
			всего	%	в т.ч. длиной < 10 км	км	%	
Припять	69140	290	4429	100	4010	20075	100	11304
Турья	2800	184	136	3,1	121	654	3,3	433
Стоход	3150	188	149	3,4	137	690	3,4	476
Стырь	12370	424	581	13,1	525	2936	14,6	1684
Горынь	27010	577	2255	50,9	2010	9366	46,7	5175
Ствига	2620	60	112	2,5	93	754	3,7	367
Льва	1750	100	63	1,4	53	343	1,7	154
Уборть	3900	172	261	5,9	236	1129	5,6	610
Словечна	600	40	27	0,6	24	189	0,9	89
Уж	8080	256	479	10,8	435	2220	11,1	1224
Др. реки	6860	-	366	8,3	376	1794	9,0	1092

От количества притоков зависит и густота речной сети в бассейне Припяти, которая колеблется в пределах 0,20–0,63 км/км² и в среднем для бассейна Припяти составляет 0,42 км/км². Максимальные параметры густоты речной сети характерны для верховьев р. Случь и достигают 0,62–0,66 км/км², что обусловлено повышенным расчленением территории этой части бассейна. Наименьшие значения параметра густоты речной сети присущи заболоченным бассейнам Стохода (0,28 км/км²). В целом, густота речной сети более высока у левобережных притоков Припяти, что обусловлено большей общей увлажненностью территории их бассейнов. Многочисленные гидромелиоративные работы увеличивают густоту речной сети в 1,5–2 раза, а на отдельных водосборах и больше. Это уменьшает отличие в густоте речной сети в бассейне в целом.

Таблица 6.3

Основные гидрографические характеристики речных бассейнов Припятского Полесья Украины

№ п/п	Название реки, гидрологич. поста	Площадь водосбора, км ²	Длина реки, км	Средний наклон реки, ‰	Средняя высота водосбора, м	Заболоченность, %	Лесистость, %	Распаханность, %	Средняя ширина водосбора, км	Средняя ширина заводи, км	Площадь заводи, км ²
<i>Бассейн Припяти (правобережные притоки)</i>											
1	Припять – с. Речица	2210	82	0,2	170	15	17	20	28	0,9	74
2	Припять – с. Любязь	6100	152	0,2	170	16	26	20	40	1,6	190
3	Выжевка – с. Старая Выжевка	722	44	0,7	190	12	17	20	15	1,0	40,0
4	Турья – с. Ягодное	502	57	1,7	210	16	18	40	8	0,5	28,5
5	Турья – г. Ковель	1480	102	1,1	200	18	13	30	15	0,8	66,3
6	Стоход – с. Малиновка	692	45	0,9	200	13	4	40	14	0,8	36,0
7	Вьрка – с. Сварьни	231	21	0,7	160	49	42	10	11	0,4	8,4
8	Случь – с. Громада	2480	139	0,7	300	5	4	80	18	0,7	83,0
9	Тня – с. Броники	982	68	0,8	230	8	16	40	14	0,2	13,6
10	Смолка – с. Суслы	632	69	0,8	230	15	18	40	10	0,1	6,9
11	Уборть – с. Рудня Ивановская	510	41	0,5	210	12	38	20	7	0,2	8,2
12	Уборть – с. Перга	2880	119	0,5	190	6	44	20	21	0,5	42,0
13	Уж – г. Коростень	1450	84	0,7	210	3	21	40	17	0,1	8,4

Величины среднего наклона для Припятских притоков изменяются в диапазоне 0,09–0,7 ‰. Такая значительная дифференциация обусловлена характером рельефа и геолого-геоморфологическим строением территории. Наибольшие значения наклонов принадлежат рекам, которые дренируются поверхностью Украинского кристаллического щита и Волынской возвышенностью, где они могут достигать 1,2 ‰. Значения среднего наклона зависят от величины водотока – для малых рек этот показатель, как правило, больше и может превышать 2,0 ‰. Наименьшие наклоны рек характерны для заболоченных территорий Полесской низменности, в частности р. Припять – 0,09 ‰. С величинами средних наклонов рек бассейна Припяти, в общем, неплохо коррелирует и средняя высота их водосборов. Наибольшим наклонам рек отвечают увеличенные средние отметки их водосборов.

Показатели озерности, заболоченности и лесистости в бассейне Припяти свидетельствуют об их значительной дифференциации. Исключение здесь составляет озерность, которая во всех случаях не превышает 1 %. Величина заболоченности изменяется в широких пределах – от 5 до 32 % площади водосбора. Наименьшая величина заболоченности характерна для бассейнов притоков нижней Припяти – Ужа (4 %) и больших правобережных притоков – Стырь (5 %) и Горынь (6 %). Распределение площадей, которые заняты лесами, имеет еще большую дифференциацию и колеблется в пределах 20–70 %. Наибольшие величины лесистости бассейнов характерны для р. Словечна (70 %) и Уборть (65 %), минимальные ее показатели – для Турьи (20 %) и Горыни (21 %). Распаханность территории водосбора Припяти имеет противоположную относительно лесистости ситуацию. Она растет

с севера на юг и наибольших значений достигает в бассейне р. Иква (приток Стыра) – 60 %. Наименьшие значения распаханности характерны для реки Словечна. В целом, для Украинского Полесья, по имеющимся данным [12], средняя длина малых рек составляет 57 км. Средний наклон малых рек в % в среднем равен 0,8, при средневзвешенных наклонах – 0,7 %. Средние размеры площадей водосбора малых рек равняются 756 км. Средняя ширина водосбора как гидрографический показатель его размеров для приведенных рек составляет 14,8 км. Высота водосбора в среднем не превышает 190 м. Коэффициенты густоты речной сети составляют в среднем 0,29 км/км². В Украинском Полесье для малых рек длиной свыше 10 км средние морфометрические характеристики соответственно составляют: длина – 16,7 км, площадь водосбора – 106 км², ширина водосбора – 6,3 км, густота речной сети – 0,28 км/км². Для данной территории средняя длина рек менее 10 км составляет 3 км.

Территориальное распределение средних морфометрических характеристик малых рек для правобережной и левобережной части Полесья в соответствии с градацией площадей водосбора приведены в таблице 6.4 [12].

В целом, средние морфометрические характеристики малых рек Полесской и Деснянской гидрологических областей являются подобными, за исключением коэффициента густоты речной сети. Так, для Полесской гидрологической области эта величина составляет 0,31 км/км², а для Деснянской гидрологической области – 0,24 км/км².

Значительное влияние на речную сеть имеет хозяйственная деятельность, в частности осушение заболоченных и переувлажненных земель. Сеть осушительных каналов и дрен увеличивают густоту гидрографической сети в среднем в 2 раза, а иногда до 10–15 раз. Кроме того, осушение территории приводит к снижению местных базисов, увеличению твердого стока, интенсификации эрозийных процессов. В результате заиления и зарастания русел через усиление эрозии почв, распаханности заводей под сельскохозяйственные угодья, строительство, осушение и другие, естественные и антропогенные процессы, верховья некоторых малых рек и даже сами реки исчезают, соответственно сокращается речная сеть [13].

Таблица 6.4

Средние морфометрические характеристики малых рек Украинского Полесья и их притоков в разных физико-географических районах

Район	Правобережное Полесье				Левобережное Полесье			
	Градация площадей водосбора							
Средние морфометрические характеристики	Среднее	В том числе: 201-500	501-1000	1001~2000	Среднее	В том числе: 201-500	501-1000	1001~2000
<i>В целом:</i> длина, км	56	40	53	85	57	41	60	80
наклон, %: средний	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	0,7
средневзвешенный	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	0,7	0,5
<i>Реки:</i> площадь водосбора, км ²	780	349	713	1500	726	397	674	1380
ширина водосбора, км	15,9	8,95	17,1	19,0	13,1	10,3	11,2	17,7
высота водосбора, м	190	210	190	180	190	220	190	170
наклон водосбора, %	-	35	6,9	-	-	29	25	-
густота речной сети, км/км ²	0,31	0,34	0,30	0,30	0,24	0,23	0,25	0,25
<i>Притоки >10 км:</i> длина, км	17,4	12,7	19,0	19,1	15,4	12,4	15,8	16,6
площадь водосбора, км ²	110	75	103	134	100	62	111	114
ширина водосбора, км	6,2	5,9	6,1	6,8	6,4	4,9	6,8	6,8
густота речной сети, км/км ²	0,29	0,29	0,28	0,30	0,27	0,29	0,26	0,26
<i>Притоки <10 км:</i> длина, км	3,1	2,5	3,2	3,4	2,8	2,5	2,6	3,4

Характеристика других поверхностных водных объектов для территории Украинского Полесья проведена для *административных областей* [14].

В *Волинской области* площади, занятые водными объектами, составляют 164,3 тыс. га (8,2 % территории области), в том числе: под реками и ручьями – 3,7 тыс. га; каналами, коллекторами и ка-

навами – 18,3 тыс. га; озерами и прибрежными замкнутыми водоемами – 14,4 тыс. га; водохранилищами, ставками и другими искусственными водоемами – 6,6 тыс. га; болота занимают площадь 27 тыс. га; гидротехнические и другие водохозяйственные сооружения – 2,2 тыс. га. В Волынской области построено 13 водохранилищ, которые используются в основном для увлажнения осушенных земель и рыборазведения (Холоновское на ручье Безымянный, в бассейне Стыра; Охнивское в бассейне Припяти, арендованное обществом рыбаков и охотников; Велицкое, Старомосирское, Быховское (бассейн Припяти) – производственным объединением «Волыньрыбгосп»). Водоохранилище Ковеля используется для обеспечения технической водой завода «Ковельсельмаш», 10 водохранилищ эксплуатируются управлениями осушительных систем. На балансе колхозов находится 2 водохранилища. Все водохранилища в удовлетворительном состоянии. В области насчитывается 439 прудов, которые размещены главным образом в южной, наиболее расчленяющей части области. Они используются в основном комплексно, а также за одноцелевым назначением: рыборазведение, увлажнение осушенных земель, орошения, рекреации, для предотвращения эрозионных явлений; 154 ставка принадлежат объединению «Волыньрыбгосп». На территории области находится 221 озеро. Большая часть озер имеет карстовое происхождение. В заводях рек, на месте стариц образовались пойменные озера. Группа наибольших озер карстового происхождения – в северо-западной части области на междуречье Западного Буга и Припяти (Шацкие озера: Свитязь, Пулемецкое, Луки, Кримнэ, Песочное). Типичными пойменными озерами являются Белое и Любязь, которые лежат в заводях Припяти. Площадь осушенных земель в заводях малых рек 63,2 тыс. га, а общая длина осушительной сети в области составляет 18 505,6 км.

В *Ровенской области* площади, занятые водными и водохозяйственными объектами, составляют 150,6 тыс. га (7,5 % территории области), в том числе: под водой 41,3 тыс. га, из них под реками и ручьями – 7,6 тыс. га; каналами, коллекторами и канавами – 20,1 тыс. га; озерами и прибрежными замкнутыми водоемами – 4,6 тыс. га; водохранилищами и ставками, другими искусственными водоемами – 9,0 тыс. га; болотами занято 107 тыс. га; гидротехническими и другими водохозяйственными сооружениями – 1,8 тыс. га. В области построено 656 прудов (общая площадь водного зеркала 6411 га, объемом 72,3 млн м³), в том числе 262 (40 % по проектам). Техническое состояние 185 прудов (28 % неудовлетворительное); лишь 37 прудов не заилены, на других – заиленность дна составляет от 5 до 60 %. В области есть 13 водохранилищ (общая площадь 3769 га, полный объем – 75,04 млн м³, полезный – 66,95 млн м³). Больше всего из них Хренницкое (площадь – 2046 га, полный объем – 45 млн м³, полезный – 44,51 млн м³). В неудовлетворительном состоянии находится Путиловское водохранилище. Целевое назначение водохранилищ: комплексное – 1, увлажнение – 8, рыборазведение с любительским рыболовством, рекреацией – 4. В области 53 озера, их общая площадь 2600 га, из них: 19 имеют площадь менее 10 га (общая площадь 100 га); 21 – площадь от 22 до 50 га (560 га); 8 озер – площадью от 50 до 100 га (общая площадь 600 га); 5 озер – площадью свыше 100 га (общая площадь 1340 га). Кроме того, на заводях рек размещены около 750 пойменных и старичных водоемов, площадь которых, очертание берегов и водозапасы могут изменяться из года в год в достаточно значительных пределах. Среди самых больших озер области – Нобель (499 га), Белое (453 га), Островское (112 га). Самое глубокое озеро – Белое (26,8 м). Общая длина оросительной сети – 3,1 км, осушительной сети – 18 032,7 км.

В *Житомирской области* площади, занятые водными объектами, составляют 128,8 тыс. га (4,3 % территории области), в том числе: под реками и ручьями – 6,5 тыс. га; каналами, коллекторами и канавами – 14,2 тыс. га; озерами и прибрежными замкнутыми водоемами – 0,3 тыс. га; водохранилищами, ставками и другими искусственными водоемами – 18,8 тыс. га; болотами занято – 80,1 тыс. га; гидротехническими и другими водохозяйственными сооружениями – 8,9 тыс. га. В области насчитывается 43 водохранилища, которые используются: комплексно – 26, для рыборазведения – 5, хозяйственно-бытовых и питьевых потребностей – 4, технического водоснабжения – 4, энергетики – 2, увлажнения земель – 2. На данное время ряд водохранилищ объемом свыше 1,0 млн. м³ остаются в списках прудов из-за отсутствия любой технической документации на них (например, Почуйки и Ставище на р. Камянка; Плоская на р. Роставица; Староселье на р. Гуйва; Гаркушино озеро на р. Гнилопять; Хомовка и Белка Радомышльском районе и др.). Техническое состояние 16 водохранилищ неудовлетворительное. Они имеют аварийные гидроузлы. Это, в частности, водохранилища, на которых когда-то действовали малые ГЭС, а теперь они не имеют хозяина (например, Любарское на р. Случь; Лопатицкое на р. Уборть; Россоховское, Вороновое, Бардина на р. Уж; Повчанское на р. Жерев; Чуднивское, Швайкивское, Слободище, Млынищанское в бассейне р. Тетерев). Значительная часть водохранилищ из-за аварийного состояния гидроузлов несут серьезную опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, при возникновении которых могут быть затоплены населенные пункты и угодья. В

области построено 825 прудов, из них 641 – используется комплексно, 57 – для увлажнения земель, 91 – для рыборазведения, 31 – для водоснабжения и 5 – для других потребностей. Лишь для 8 прудов есть техническая документация; по другим – данных нет. Техническое состояние 349 прудов (42 %) неудовлетворительное, заиленность изменяется от 10 до 45 % их объема. Общая длина осушительной сети 13 824 км, в том числе межхозяйственной – 7071 км, внутрихозяйственной – 6753 км. Общая длина защитных дамб обвалования 50 км. Учтенных озер в области 2 (общая площадь 22 га), одно из них имеет площадь 12 га.

В *Киевской области* площадь, занятая водными и водохозяйственными объектами, составляет 232,6 тыс. га (8 % территории области), в том числе в г. Киеве 3,6 тыс. га. Под реками и ручьями занято 10 тыс. га (в Киеве – 1,9 тыс. га); каналами, коллекторами и канавами – 8,1 тыс. га; озерами и прибрежными замкнутыми водоемами – 10,5 тыс. га (в Киеве – 1,0 тыс. га); водохранилищами и ставками – 147,9 тыс. га (в Киеве – 0,4 тыс. га); болотами – 49,6 тыс. га (в Киеве – 0,3 тыс. га); гидротехническими и другими водохозяйственными сооружениями – 6,2 тыс. га. В области создано 58 водохранилищ (без учета водохранилищ на Днестре), в том числе 4 с объемом свыше 10 млн м³. В неудовлетворительном состоянии находятся 17 водохранилищ. По целевому назначению водохранилища распределяются так: комплексное – 32, ирригационное – 9, техническое водоснабжение – 3, рыбоводство – 13, рекреационное – 1, энергетическое – 1. В области построено 2389 прудов, из них 1098 (46 %) находятся в неудовлетворительном состоянии. Техническая документация на строительство прудов отсутствует. В целевой структуре использования прудов преобладает комплексное назначение (1466); для орошения используется 91 пруд, водоснабжения – 6, рыборазведения – 506, для других потребностей – 320 прудов. Площадь осушенных земель в заводях малых рек составляет 194,8 тыс. га. Общая длина открытой осушительной сети 7023 км.

В *Черниговской области* площади, занятые водными объектами, составляют 61,3 тыс. га (1,9 % территории области), в том числе: 16,9 тыс. га – под реками и ручьями; 5,5 тыс. га – под каналами, коллекторами и канавами; 9,7 тыс. га – под озерами и прибрежными замкнутыми водоемами; 29,2 тыс. га – под водохранилищами и ставками. Площадь водного зеркала Киевского водохранилища в пределах области составляет около 19 тыс. га. В области построено 15 водохранилищ с объемом, который не превышает 10 млн м³, а также 683 ставка. Эти водоемы используются в основном для разведения рыбы, хозяйственных и бытовых потребностей, орошения и увлажнения и др. Общая длина осушительной сети – 7440,7 км. В области есть 17 озер общей площадью 8,19 км², в том числе 2 озера свыше 1,1 км² каждое, 2 – свыше 0,5 км², 5 – свыше 0,1 км² и 8 озер – менее 0,1 км².

Вывод. Оценка гидрографических характеристик территории Украинского Полесья на сегодняшний день проведена по данным конца 80-х начала 90-х годов конца XX века. В связи с наличием естественной и искусственной поверхностной гидравлической связи между водосборами рек и наличием большого количества мелиоративных каналов гидрографические характеристики данной территории нуждаются в детальном учете с использованием ГИС-технологий и периодического дальнейшего их обновления.

6.2. Гидрологическая изученность территории

Гидрологические наблюдения играют важную роль в освещении процессов, которые происходят на водных объектах, и являются важнейшим источником получения гидрологической информации. Степень гидрологической изученности территории характеризуется результатами режимных наблюдений на реках, которые проводятся Государственной гидрометеорологической службой Украины. Гидрологический режим средних и малых рек Украины начали систематически изучать во второй половине XIX века. Регулярные наблюдения за уровнем воды на Днестре (около Киева) датируются 1804 г., на Припяти – 1843 г. В бассейне Десны первые гидрологические наблюдения проводились в 1839 г., измерения расходов воды – в 1895 г. Расходы воды на то время измеряли лишь на отдельных створах. В начале XX века гидрологические работы значительно расширились. Более детально начали измерять сток воды. Особенное внимание изучению малых рек стали уделять со второй половины 40-х годов. В это время были открыты гидрологические посты (на которых измерялись расходы как воды, так и наносов). На основе изучения процессов формирования водного баланса речных бассейнов, разработки новых и усовершенствования существующих методов гидрологических расчетов и прогнозов на территории Украинского Полесья была открыта водобалансовая станция – Придеснянская [12]. В 90-х годах прошлого века началось первое сокращение гидропостов на реках.

На территории Украинского Полесья наблюдения за гидрологическим режимом проводятся как на стационарных постах, которые принадлежат Государственному метеорологическому центру МЧС Украины, так и на ведомственных постах. Основой для оценки ресурсов поверхностных вод

являются наблюдения за водным режимом, которые проводятся на 49 гидрологических постах Госгидрометеоцентра Украины. Наибольшее количество наблюдений за гидрологическим осуществляют в бассейне Припяти. За водным режимом (расходы и уровни воды) наблюдения проводят на 25 гидрологических постах. Сведения о некоторых действующих гидрологических постах в бассейне реки Припять приведены в таблице 6.5 [11]. Сток взвешенных наносов измеряется в створах 13 постов. Гидрологические посты в подавляющем большинстве были открыты к началу Второй мировой войны, но полные непрерывные данные наблюдений на них фактически относятся к середине 40-х годов XX века. Непрерывные ряды наблюдений за расходом воды длительностью 55 лет и больше (начиная с 1945 г.) есть приблизительно на 50 % постов. Наблюдения за взвешенными наносами имеют самые короткие ряды. В бассейне расположено всего 6 постов, на которых измерения проводятся в течение 25 лет и больше. Вследствие этого возникают некоторые трудности в определении естественных закономерностей формирования стока наносов. Всего на двух постах (р. Стырь – г. Луцк, р. Случь – г. Сарны) измерения данной гидрологической характеристики проводятся с 1946 и 1947 года соответственно. Кроме того, на всех указанных постах проводятся наблюдения за термическим и ледовым режимом рек.

Таблица 6.5

Сведения о некоторых действующих гидрологических постах в бассейне реки Припять

Название реки	Гидрологический пост	Площадь водосбора, км ²	Дата открытия поста	Наблюдения за		
				уровнями воды	расходами воды	взвешенными наносами
Припять	с. Речица	2210	22.10.1928	+	+	+
Припять	с. Любязь	6100	20.07.1922	+	+	
Выжевка	с. Руда	141	27.09.1929 (18.07.1945)	+	+	+
Выжевка	с. Старая Выжевка	722	17.10.1925	+	+	
Турья	с. Ягодное	502	26.08.1931	+	+	
Турья	г. Ковель	1480	8.07.1922 (24.05.1945)	+	+	+
Стоход	с. Малиновка	692	1923 (14.07.1945)	+	+	
Стоход	пгт. Любешов	2970	20.07.1922	+	+	
Стырь	с. Щуровцы	2020	1898 (19.11.1922)	+	+	+
Стырь	г. Луцк	7200	1900 (1922)	+	+	+
Стырь	с. Млынок	10900	09.08.1924	+	+	
Иква	с. Великие Млыновцы	632	18.12.1944 (19.06.1975)	+	+	+
Горынь	пгт. Ямполь	1400	22.01.1935	+	+	+
Горынь	с. Оженин	5860	1923 (23.12.1940)	+	+	+
Горынь	с. Деражное	9160	01.10.1922	+	+	+
Вырка	с. Сварыни	231	09.04.1946 (25.05.1963)	+	+	
Случь	с. Громада	2480	20.10.1925	+	+	+
Случь	г. Сарны	7460	23.10.1924	+	+	+
Случь	г. Новоград-Волынский	13300	1923 (25.03.1945)	+	+	+
Тня	с. Броники	982	17.10.1936	+	+	
Смолка	с. Суслы	632	7.10.1939	+	+	
Льва	с. Осницк	276	28.10.1946	+	+	
Уборть	с. Рудня Ивановская	776	27.08.1926 (01.01.1976)	+	+	
Уборть	с. Перга	2880	16.09.1924	+	+	+
Уж	г. Коростень	1450	08.12.1930	+	+	

Сеть постов наблюдения за гидрохимическим режимом поверхностных вод существенно расширилась после 1986 г. Государственный мониторинг качества поверхностных вод проводят: подразделения Государственной экологической инспекции (Госэкоинспекция) и Государственное агентство водных ресурсов (Госводагентство) Министерства экологии и природных ресурсов Украины; Укра-

инский гидрометеорологический центр Министерства чрезвычайных ситуаций Украины (Укргидрометеоцентр); Управление санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения Украины (СЭС).

В бассейне Припяти мониторинг качества речных вод, который выполняют подразделения Госэкоинспекции, проводится на 94 постах (Волинская область – 21, Ровенская область – 66, Житомирская область – 7). Наблюдения проводят 4 раза на год по 19 общесанитарным и 11 специфическим показателям. Подразделения Укргидрометеоцентра выполняют наблюдение на 28 постах, с частотой от 7 до 12 проб на год. Определяют 23 общесанитарных показателя и 6 – специфические. Мониторинг качества речных вод, который проводится Госводагентством, осуществляется на 28 постах, с частотой от 4 до 12 проб. Наблюдения проводят по 24 общесанитарным показателям, по 18 специфическим показателям и радионуклидами [2]. Днепровское бассейновое управление водных ресурсов проводит мониторинг на 9 постах бассейна Припяти в специальной Чернобыльской зоне, с частотой 12 проб на год. Количество проб в системе Госводагентства наибольшее, но самые длинные ряды есть в системе мониторинга Укргидрометеоцентра. Государственная СЭС осуществляет выборочные проверки качества поверхностных вод в пунктах централизованного и децентрализованного хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения.

Современные наблюдения в бассейне Десны проводятся по водным, гидрохимическим, термическим и ледовым режимам – на 13 водных объектах в 20 створах, в том числе на 11 пограничных участках рек, в 2 створах технических водозаборов на р. Десна около пгт. Макошино и г. Чернигов, в одном створе зоны влияния Смоленской АЭС на р. Десна, в 6 створах на реках Десна, Сейм, Снов, Остер, Удай, Стрижень, Билоус.

Широкое применение приобретают *автоматические гидрологические станции* (посты). Они дают возможность непрерывно осуществлять мониторинг гидрологических ситуаций, фиксировать амплитуду и ход развития половодья и паводков, проводить детальную оценку их развития, осуществлять непрерывные гидрологические прогнозы, заблаговременно предупреждать о рисках. Сегодня в Украине 54 автоматических поста. На территории Украинского Полесья их пять – Любязь-Припять, Любешов-Стоход, Луцк-Стырь, Любанский мост-Припять, а также на р. Днепр – Киев-Днепр.

6.3. Питание рек

Источниками питания рек Украинского Полесья являются тало-снежные, дождевые и подземные воды. Питание часто носит смешанный характер с преобладанием значения того или другого вида. Так, для бассейна Припяти характерно развитие подземных вод, которые принадлежат к разным стратиграфическим комплексам разного возраста. Водоносные горизонты четвертичных и дочетвертичных отложений зоны активного водообмена образуют гидравлическую замкнутую систему. Питание вод четвертичных отложений происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, паводковых вод в весенние периоды, за счет вод, которые лежат ниже водоносных комплексов. В пределах заводи р. Припять и ее притока происходит разгрузка напорных вод. Величина питания грунтовых вод колеблется в широких пределах – от 18,6 до 114,2 мм в год [11].

От преобладания тех или других источников питания, их изменений на протяжении года зависят внутригодовые колебания стока. Структура речного стока и ее изменения были предметом многих исследований. В середине XX века распределение стока рек Украинского Полесья считалось близким к среднему распределению в лесной зоне Восточноевропейской равнины. Поверхностное питание принималось в пределах 40–50 %, в то время как подземное питание – в пределах 45–60 % [15]. Для данной территории были проведены исследования подземного питания рек по средним из наименьших месячных расходов воды [16]. Выявлено, что часть подземного питания на западе Украинского Полесья составляет около 50 %. На конец 70-х годов XX века выявлено, что в целом среднее соотношение между источниками питания рек бассейна Припяти следующее: снежное – 10–50 %, подземное – 30 %, дождевое – 20–30 %. Современные исследования показывают, что в верховье Припяти процент подземного питания превышает 40 %, уменьшаясь вниз по течению к 28,5 %, и в целом составляет 32 % [17]. По методике с использованием средних из наименьших расходов воды при расчетах величин подземного стока рек Украины, которые выполнялись в 80–90-х годах XX века и в начале текущего века [18, 19, 20], было установлено, что для данной территории часть подземного стока рек составляет в закарстованных верховьях Стыра и Горыни 30–45 %, в бассейнах Убеди, Сейма и Снова – 25–30 %. На начало XXI века также была проведена характеристика условий питания рек бассейна Припяти в Полесской гидрологической области [11]. Для этого использовалось расчленение гидрографов общего стока на составляющие, которые отвечают отдельным видам питания, по степени гидравлической связи русловых и подземных вод. Для определения соотношения видов пи-

тания были построены и проанализированные гидрографы стока в годы с разной водностью. Из общего ряда наблюдений выбраны годы: очень многоводный (5 %), умеренно многоводный (25 %), средний по водности (50 %), умеренно маловодный (75 %), очень маловодный (97 %) (табл. 6.6) [11].

Таблица 6.6

Соотношение видов питания некоторых рек бассейна Припяти в разные по водности годы, %

Характеристика года	Припять – с. Речица			Припять – с. Любязь		
	снежное	дождевое	подземное	снежное	дождевое	подземное
	1974 г.			1974 г.		
Очень многоводный, 5 %	4,6	58,8	36,6	3,9	87,5	8,6
	1980 г.			1988 г.		
Умеренно многоводный, 25 %	8,5	31,9	59,6	40,4	29,4	30,2
	1998 г.			1983 г.		
Средний по водности, 50 %	41,8	21,4	36,8	86,5	0,0	13,5
	1996 г.			1997 г.		
Умеренно маловодный, 75 %	40,4	3,5	56,1	28,4	26,3	45,3
	1984 г.			1972 г.		
Очень маловодный, 97 %	7,9	44,6	47,5	26,3	28,7	45,0
Среднее	20,6	32,0	47,4	37,1	34,4	28,5

Анализ таблицы 6.6 показывает, что для верховьев Припяти характерен значительный процент подземного питания, что объясняется низинным характером рельефа, близким залеганием грунтовых вод, лесистостью и заболоченностью территории. Все названные факторы способствуют переходу поверхностного стока в подземный, со следующим его попаданием в реку. Часть подземного питания растет с уменьшением водности года. Для умеренно маловодных и очень маловодных лет она составляет 40 %. Часть подземного питания в верховьях Припяти уменьшается вниз по течению с 47,4 до 28,5 %. Также часть снежного питания растет вниз по течению, что связано с увеличением площади водосбора и уменьшением зависимости подземной составляющей стока. Сделан вывод о том, что достаточно сложно проследить закономерности в соотношениях между видами питания в годы с разной обеспеченностью. Это связано с тем, что водность близких по обеспеченности лет может быть обусловлена как весенним половодьем, так и дождевыми паводками, но прослеживаются некоторые тенденции в этом процессе. В бассейне верхней Припяти очень многоводные годы обусловлены дождевым стоком, поэтому часть дождевого питания составляет от 59 до 87 % на фоне очень низкого снежного питания от 4 до 4,5 %. Наибольшая его часть наблюдается в средние по водности годы от 42 до 86 %. В маловодные и очень маловодные годы часть снежного питания опять уменьшается. Часть дождевого питания наименьшая в средние по водности и умеренно маловодные годы, она растет в очень маловодные годы [11].

На начало XXI века для других водосборов рек Украинского Полесья были проведены исследования для видов питания [5]. Были избраны ровно обеспеченные годы водности, а именно: многоводные, обеспеченностью 25 %; средние по водности, обеспеченностью 50 %; очень маловодные, обеспеченностью 75 %. Для каждой величины обеспеченности были взяты три года, для которых были построены и расчленены гидрографы. В результате были получены части отдельного вида питания для каждой величины обеспеченности (табл. 6.7).

Таблица 6.7

Части видов питания некоторых рек Украинского Полесья в годы разной обеспеченности, % от объема годового стока

Река – пост	Вид питания	Обеспеченность года, %			Среднее значение
		25	50	75	
Горынь – с. Оженин	снежное	48,8	33,1	44,2	42,0
	дождевое	25,4	34,6	20,9	27,0
	подземное	25,8	32,3	34,9	31,0
Случь – г. Сарны	снежное	56,8	56,5	38,8	50,7
	дождевое	14,5	25,4	34,3	24,7
	подземное	28,7	18,1	26,9	24,6
Снов – г. Щорс	снежное	49,1	60,3	63,7	57,7
	дождевое	27,3	16,7	4,0	16,0
	подземное	23,6	23,0	32,3	26,3

Анализ таблицы 6.7 показывает, что в среднем на реках Украинского Полесья преобладающим видом питания является снежное 42–57,7 %, причем оно растет с запада на восток. Часть дождевого питания больше в Полесской гидрологической области (24–27 %) и резко уменьшается в бассейне Десны. Часть подземного питания является относительно стабильной. В годы с разной обеспеченностью достаточно сложно проследить закономерности в соотношениях между видами питания.

Бассейн Десны характеризуется значительным развитием напорных водоносных горизонтов, приуроченных к юрским, верхнемеловым породам палеогена и грунтовых вод, которые содержатся в четвертичных отложениях. В пределах бассейна выделяют два подрайона распространения грунтовых вод: первый – занимает нижнее и среднее течение Десны, а второй – охватывает верхнюю часть бассейна Десны (Новгород-Сиверский, Ямполь, Шостка).

Исследования ученых [21] многолетней динамики питания реки Десны показали, что в районе г. Чернигов соотношение между дождевым, снежным и подземным питанием составляет соответственно 5, 47 и 48 %, а в последние годы процент подземного питания вырос на 10 % за счет такого же снижения процента снежного питания.

6.4. Режим уровней воды

В связи с разными физико-географическими условиями на реках Полесья Украины значительно различается режим уровня воды. Годовые изменения уровней воды на реках отмеченной территории, которая относится к областям с повышенной и достаточной водностью в гидрологическом районировании, характеризуются обычно высоким весенним половодьем и достаточно низкой меженью.

Весеннее половодье может проходить двумя-тремя и больше пиками, которые обуславливаются неравномерным таянием снега или дождями. Начало весеннего половодья на малых и средних реках приходится на первую-вторую декады марта, редко – на вторую-третью декады февраля, а заканчивается во второй половине апреля, иногда в первой декаде мая. Наивысшие уровни весеннего половодья представлены обычно наивысшими уровнями воды и наблюдаются в конце марта – начале апреля. Интенсивность поднятия и общее повышение уровней воды весной разнообразны и зависят от гидрометеорологических условий весеннего периода и гидрографического строения речного бассейна. Наиболее часто уровни воды весной за сутки поднимаются на 20–40 см, иногда на 100–200 см (максимальные наблюдения). На реках с большой заболоченностью бассейна и широкой заводью максимальное поднятие уровней не превышает 100 см в сутки. Общее поднятие уровней в весеннее половодье изменяется в значительных пределах: при низком половодье – 1,0–2,0 м; при среднем – 2,0–4,0 м; при очень высоком – 5,0–6,0 м. На заболоченных реках с широкими заводьями (Стоход, Уборть, Ирша, Турья и др.) общее поднятие уровней не превышает 2,0–3,5 м, даже в годы с очень высоким весенним половодьем [12]. Наивысшие уровни весеннего половодья наблюдаются на малых реках обычно во второй-третьей декаде марта. Максимум весеннего половодья не всегда является наивысшим годовым уровнем, чаще всего это наивысший уровень дождевых паводков. Интенсивность поднятия уровня весеннего половодья зависит преимущественно от водности весны. Длительность весеннего половодья – 1,5–2 месяца.

За весенним половодьем следуют летние дождевые паводки, максимумы которых обычно превышают максимальные уровни весеннего половодья на 0,5–1,5 м. В отдельные годы паводков может быть от 5–8 до 10–12 и больше. В многоводные годы отмечается до 8–10 и больше паводков, средняя длительность которых на малых реках составляет 5–10 суток. В летне-осенний период высота и частота повторения дождевых паводков увеличивается из севера на юг и юго-запад. Средняя интенсивность поднятия уровня воды во время паводка – от 5–20 до 10–100 см/сутки. Затяжные дожди осенью определяют значительные подъемы уровней, которые иногда достигают 2–3 м. Необходимо отметить, что осенью бывают очень высокие и даже катастрофические паводки. Зимой режим уровней характеризуется неустойчивостью из-за частых оттепелей. Уровень воды при этом поднимается на 1,0–1,5 м, а иногда и на 2,0–3,5 м по сравнению с предпаводковым периодом [13, 12, 22].

Летняя межень часто плавно переходит в осеннюю и длится до октября-ноября, может неоднократно прерываться дождевыми паводками. Снижение уровня длится до августа-сентября и достигает наиболее низкого значения в конце сентября-октября. Осенью наблюдается повышение уровня, которое длится до зимы. Стойкая зимняя межень с постоянным ледовым покровом бывает лишь на реках северного востока Деснянской гидрологической области. Здесь на малых реках в суровые зимы наблюдалось промерзание, которое длилось от нескольких дней до 2 месяцев. На остальной территории оттепели часто формируются зимние паводки, которые нарушают ледовый покров.

В связи с тем, что бассейн Припяти занимает большую часть территории Украинского Полесья, целесообразно рассмотреть режимы уровней воды более детально. В частности, годовое изменение

уровней на реках бассейна Припяти характеризуется высоким весенним половодьем, низкой меженью, которая прерывается паводками от выпадения дождя и таяния снега. За период наблюдения максимальные уровни в 88 % случаев приходились на весеннее половодье, а в 12 % – на дождевые паводки в лето, осень и зиму. Дождевые паводки в летне-осенний период бывают почти ежегодно. Наибольшей высотой и длительностью отличаются паводки, которые проходят осенью. Средняя высота весеннего подъема над минимальным летним уровнем составляет 3,5–4,5 м на р. Припять, для правобережных притоков – 1,0–2,5 м. Летняя межень обычно ниже зимней. Во всех случаях за период наблюдения минимальные уровни фиксировались в летне-осенний период. Зимняя межень нередко прерывается оттепелями, следствием которых являются зимние паводки, в отдельные годы превышая весеннее половодье. Колебания уровней воды в разные фазы водности приведены в таблице 6.8 [11].

Таблица 6.8

Характерные уровни воды для рек бассейна Припяти (по состоянию на 01.01.2001)

Название реки, гидрологического поста	Отметка нуля поста, м БС	Н _{ср} , см	Максимальный уровень		Минимальный уровень	
			см	дата	см	дата
Припять – с. Речица	148,9	273	373	11.03.1999	183	8-21.09.1964
Припять – с. Любязь	138,3	33	383	17-18.03.1999	132	15.08.1952
Выжевка – с. Руда	178,18	123	229	6-7.04.1958	прсх.	1-16.10.1946
Выжевка – с. Старая Выжевка	162,71	209	344	02.03.1967	прсх.	10-22.08.1947
Турья – с. Ягодное	179,86	214	398	05.04.1932	167	5-8.08.1994
Турья – г. Ковель	165,52	208	389	07.04.1958	139	19-20.08.1947
Стоход – с. Малиновка	174,17	168	374	15.03.1979	99	30-31.07.1972
Стоход – пгт. Любешов	141,82	196	298	-	116	30.07-8.08.1950
Стырь – с. Щуровцы	191,8	122	293	6.11.1974	65	15.11.1976
Стырь – г. Луцк	172,87	342	715	7-8.04.1932	173	13.08.1963
Стырь – с. Млынок	146,93	41	435	10.04.1932	116	28-29.09.1950
Иква – с. Великие Млыновцы	223,28	42	220	8.04.1996	6	3-16.07.1985
Горынь – пгт. Ямполь	238,45	489	656	25.03.1947	298	5-8.08.1994
Горынь – с. Оженин	185,07	91	321	24.03.1947	7	25.06.1986
Горынь – с. Деражное	162	192	485	8.04.1956	34	24.07.1959
Вырка – с. Сварыни	153,01	26	211	6.04.1996	-21	7-8.09.1987
Случь – с. Громада	223,82	90	427	6.04.1996	5	3.07.1900
Случь – г. Сарны	144,19	254	620	25.03.1979	145	9-11.08.1967
Случь – г. Новоград-Волынский	186,42	174	726	17.04.1932	90	5-6.07.1936
Тня – с. Броники	198,01	147	506	19.07.1948	100	7-28.09.1951
Смолка – с. Суслы	197,97	140	510	5.04.1962	98	20-27.07.1995
Льва – с. Осницк	164,92	72	250	17.02.1958	27	18-19.08.1972
Уборть – с. Рудня Ивановская	188,15	149	365	8.03.1999	86	18-19.07.1999
Уборть – с. Перга	155,4	175	530	08.04.1932	91	30.11.1934
Уж – г. Коростень	157,53	149	582	08.04.1932	92	6.06.1946

Анализ таблицы 6.8 показывает, что максимальные уровни воды на большинстве постов наблюдаются в период половодья. Лишь в двух случаях (рр. Стырь – с. Щуровцы, Тня – с. Броники) максимальные уровни воды наблюдаются в период летне-осенних паводков. Это можно объяснить прежде всего малыми площадями водосборов в запирающих створах упомянутых выше постов. Минимальные уровни наблюдаются в абсолютном большинстве случаев в период летне-осенней межени, то есть наименьшей водности. Лишь для р. Уборть – с. Перга минимальные отметки уровней зафиксированы в зимний период.

Важной характеристикой уровневого режима является амплитуда колебания. Для бассейна Припяти, по данным многолетних наблюдений, амплитуда изменения уровня воды колеблется от 2–3 м (в верховье) до 5–7 м (в среднем и нижнем течении). Наибольшая разница между максимальными и минимальными уровнями наблюдается на р. Случь – г. Новоград-Волынский и составляет 636 см. Минимальные значения амплитуды колебания уровней для рек бассейна наблюдается на р. Стоход – пгт. Любешов и составляет 182 см. Это объясняется выходом Украинского кристаллического щита, который приводит к большому расчленению территории. В целом подтверждается такая закономерность, что с ростом площадей водосбора увеличивается разница между максимальными и минимальными уровнями за период наблюдения. Например, для верховья бассейна Припяти она составляет

190–251 см, Выжевки – 229–344 см, Турьи – 231–256 см, Горыни – 358–451 см, для Случа – 432–636 см. Также в целом можно выявить тенденцию увеличения амплитуды колебания уровней за год с запада на восток. Для рек бассейна Припяти наибольшие значения колебания уровней воды имеют места в районах дренирования водотоками щита и Волыно-Подольской возвышенности (4–5 м), что обусловлено строением их долин и заводей. Наименьшие показатели этих величин характерны для низинных, с широкими заводьями, заболоченных участков Полесской низменности (2–3 м).

Для р. Десны, по данным многолетних наблюдений, амплитуда изменений уровня воды колеблется от 2–3 м (в верховьях) до 3–5 м (в среднем и нижнем течении). Характерные уровни воды для рек бассейна Десна за многолетними наблюдениями приведены в таблице 6.9 [23].

Таблица 6.9

Характерные уровни воды для рек бассейна р. Десна за многолетними наблюдениями

Название реки, гидрологического поста	Средний уровень воды за 2012 г., см	Средний уровень воды за период наблюдений, см	Максимальный уровень		Минимальный уровень (открытого русла)		Минимальный уровень (зимой)	
			см	дата	см	дата	см	дата
Десна – г. Чернигов	292	330	985	18.04.1917	94	27.08.2010	128	27.11.1975
Убедь – с. Кудровка	89	93	355	05.04.1970	16	12.06.1979	24	14.03.1993
Сейм – с. Мутино	444	503	855	25.04.1942	342	17.08.2012	376	16.11.1975
Снов – г. Щорс	108	126	400	21.03.1934	-29	27.08.2010	43	24.12.1948
Билоус – с. Кошевка	219	211	452	31.03.2006	163	19.08.2010	176	19.02.1996

Максимальные амплитуды уровней за период наблюдений в створе р. Десна – г. Чернигов и составляют 891 см, минимальные значения – р. Билоус – с. Кошевка – 276 см. Это также подтверждает закономерность увеличения амплитуды уровней с ростом площади водосбора. Для бассейна Десны максимальные уровни отвечают в основном весеннему водополью, а минимальные уровни наблюдаются в период летне-осенней межени.

Анализ многолетних данных об уровнях воды в бассейне р. Десна при оценке водного режима приграничных рек [23] показывает, что основными условиями формирования катастрофического водополья в бассейне являются: выпадение большого количества осадков в зимний период; суровые и длительные зимы, которые способствуют накоплению зимних осадков в бассейне; накопление значительных запасов воды в снежном покрове; значительное промерзание почв, которое способствует быстрому стеканию воды по склонам водосбора; интенсивные процессы таяния одновременно по всему бассейну реки.

6.5. Термический и ледовый режимы

Показателями *термического режима* рек Украинского Полесья являются средние температуры воздуха. Характерная черта их годового хода – значительные среднемесячные изменения в летние и зимние сезоны, а также резкие изменения в весеннее и осеннее время. В годовом ходе температур наблюдается почти прямая корреляция с суммами солнечной радиации, которые поступают на земную поверхность. Однако зональное распределение температур нарушается сезонными изменениями атмосферной циркуляции и адвекцией воздуха. Зимой на территорию Украины приходят теплые воздушные массы из Атлантики, Средиземноморья, Черного моря и распространяются на юго-западные районы, поэтому январские изотермы здесь и в северной части территории Полесья направляются с северо-запада на юго-восток [2].

Термический режим рек формируется под воздействием трех факторов: *термических, морфометрических* и *антропогенных*. Термические факторы определяют тепловой баланс водотока на протяжении года; морфометрические – изменение условий формирования термического и ледового режима в результате значительного изменения морфометрических характеристик русла (ширина, глубина, извилистость, наклон и т. п.); антропогенные – включают разные виды хозяйственной деятельности. Главный фактор термической группы – солнечная радиация – имеет зональный характер распределения по территории Украинского Полесья. Вместе с тем водность рек и морфологические особенности их русел, подземные воды и антропогенные факторы вызывают значительные локальные изменения в термическом режиме, которые нередко доминируют над зональными, и в распределении характеристик термического режима рек на данной территории отмечается значительная пестрота.

Кроме того, термический режим характеризуется изменением температуры воды от начала весеннего прогревания воды (дата стойкого перехода через $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ весной) к началу ледовых явлений осенью (дата стойкого перехода через $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ осенью). В целом же средние многолетние даты перехода температуры воды через $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ весной для рек с естественным термическим режимом и умеренным грунтовым питанием представляют: на северо-востоке – конец марта – начало апреля. Наиболее ранние даты – соответственно середина второй декады марта. Наиболее поздние даты – середина второй декады апреля. Для рек с умеренным подземным питанием характерна широтная зональность изменений средних, ранних и поздних дат стойкого перехода температуры через $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на весне. Так, средние даты такого перехода на северо-востоке – конец марта. Ранний переход на северо-востоке – в конце февраля – в начале второй половины марта. Поздние даты перехода температуры воды через $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ весной, на севере – на конец первой – на начало второй декады апреля. Стойкий переход температуры воды через $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ осенью ежегодно наблюдается только на северо-востоке Полесья и обычно приходится на конец февраля и середину первой декады декабря. На северо-западе такой переход бывает в 80–85 % лет и наступает несколько позже – в конце первой – в начале второй декады декабря.

Средняя месячная температура воды в отдельные месяцы на данной территории изображена на (рис. 6.4) [1].



Рис. 6.4. Температура воды на территории Украины

Средняя температура воды в апреле на северо-востоке левобережного Полесья – $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. В мае температура воды в среднем равняется: на северо-востоке Полесья – $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, в июне – на севере Полесья – около $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; в июле на крайнем северо-западе и северо-востоке – $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. В августе, сентябре и октябре температура практически не изменяется. Так, на севере и северо-востоке страны средняя температура воды составляет в августе $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, в сентябре – $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, в октябре – $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Разница в срочных температурах значительно больше [13]. В частности, на рис. 6.4 видно, что наибольшие среднемесячные температуры воды на реках Украинского Полесья наблюдаются в июле, соответственно больше $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а наименьшие – в основном в апреле – менее $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. На реках Полесья период с температурой воды свыше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в среднем длится с 23 апреля до 17 октября. Среднегодовая максимальная температура воды на реках Полесья в пунктах наблюдения за температурой составляет: в верховье р. Припять – с. Любязь – $25,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; р. Случь – г. Сарны – $26,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; р. Днепр – с. Неданчичи – $26,2\text{ }^{\circ}\text{C}$; р. Десна – г. Чернигов – $25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; р. Сейм – с. Мутино – $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ледовый режим определяется температурным режимом на территории Украины в осенне-зимний период. Начало стойких ледовых явлений на реках Полесья с естественным ледовым режимом распространяется с северо-востока на юго-запад. Средние даты начала стойких ледовых явлений на реках северо-востока Украины приходятся на 10–15 ноября. Ранние сроки начала стойких ледовых явлений опережают средние на 2–3 недели, а поздние – опаздывают больше чем на 1 месяц [13].

Зимняя межень начинается появлением отрицательных температур воздуха, ледовых образований на реках (рис. 6.5) [1]. Она несколько выше летне-осенней межени, а в связи с оттепелью бывают зимние паводки с поднятием уровня воды до 1,0–1,5 м.

Средняя многолетняя длительность ледостава составляет от 80 до свыше 90 дней на реках правобережной части Полесья (рр. Турья, Выжевка, Горынь, Случь, Стырь, Уборть, Уж, Тетерев). В левобережной части Полесья на реках бассейна Десны и Сейма эта величина растет – от 90 до свыше 110 дней. Также стойкий снежный покров на данной территории, по полученным данным [5], может быть 60–70 дней, а в отдельные годы его длительность может изменяться от 20–30 до 130–160 дней. Высота снежного покрова на большей части рек в феврале составляет 12–15 см, а в отдельные зимы достигает 50 см и больше.

Ледовый режим на реках Украинского Полесья, в целом неустойчивый, за исключением верховьев Десны. Ледостав может неоднократно прерываться вскрытием во время оттепелей. Очистка рек от ледовых образований происходит на 5–10-е сутки после их вскрытия [13].



Рис. 6.5. Ледостав на реках Украины

В зоне мешаных лесов снег тает в начале апреля. От запасов воды в снеге и его таяния зависят размеры и длительность половодья, запасы влаги в почве.

6.6. Гидрохимический режим

По химическому составу поверхностные воды рек Украинского Полесья значительно отличаются, что обусловлено особенностями физико-географических условий формирования речного стока. Состав поверхностных вод очень изменяется по сезонам, а также под воздействием целого комплекса естественных и антропогенных факторов (табл. 6.10) [25]. Для малых рек Полесья наиболее значимыми среди них являются физико-географические, в первую очередь характер почв и интенсивность эрозионных процессов, а также степень лесистости и заболоченности территории, и антропогенные факторы (прежде всего селитенная нагрузка и объемы сброса сточных вод), которые и определяют химический состав воды. Также среди факторов, невзирая на значительное влияние хозяйственной деятельности человека, главную роль играет гидрологический режим реки. Влияние водности реки проявляется в растворении имеющихся в воде химических веществ. Химические характеристики вод рек включают чаще всего, сведения об общем содержимом растворенных в воде солей, состав главных ионов включает (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ + K^+), биогенных соединений (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , фосфаты, общее железо), общая твердость воды, БПК [22]. Вклад каждого из них в суммарный сток рек разный.

Факторы формирования химического состава воды

Фактор				
гидрологические и метеорологические	гидробиологические	геологические	физико-географические	антропогенные
Водный сток (поверхностный и подземный)	Биоаккумуляция химических веществ во время продукционных процессов	Химический состав горных пород	Характер рельефа	Сточные воды
Твердый сток			Почвенный покров	Удобрения и средства защиты растений
Колебания уровней воды			Эрозионные процессы	Мелиорация
Русловые процессы	Выделение химических веществ во время деструкционных процессов	Условия залегания	Лесистость	Животноводство
Осадки			Заболоченность	Регулирование стока
Солнечная радиация			Озерность	Селитебная нагрузка
Испарения			Геоландшафтные характеристики	
Циркуляция воздушных масс				

Так, при увеличении расходов воды (весеннее половодье, паводки) минерализация речных вод уменьшается, а при их уменьшении (межень) – увеличивается. Хотя на практике могут встречаться исключения из этого правила: при формировании больших расходов воды на загрязненном химическими веществами водосборе возможно увеличение концентраций химических веществ (особенно сульфатов, хлоридов, биогенных элементов, нефтепродуктов, фенолов, пестицидов). Для некоторых малых рек Украинского Полесья (рр. Случь – с. Громада, Стырь – г. Луцк, Стоход – с. Малиновка, Турья – г. Ковель, Уж – пгт. Полесское) и гидрологических сезонов выявлена зависимость между показателями качества воды и расходами, которая отображена в литературе [12], охватывая период середины 80-х годов XX века. Также здесь приведено влияние осушительных мелиораций на формирование химического состава воды некоторых малых рек Украинского Полесья.

Главным фактором качества поверхностных вод являются нормативные требования (классификация СЭВ, рыбохозяйственные нормативы, санитарно-экологические нормы, рекомендованный экологический оптимум) [12, 22], которые включают разные показатели качества: рН, газовый режим и органические вещества, минеральный состав, твердый сток, специфические примеси и загрязнения, биологические характеристики. Для малых рек Украинского Полесья на середину 80-х годов XX века показатели качества воды оценены в виде средних многолетних величин [12, 22].

Наиболее полно гидрохимическая характеристика малых и средних рек Украинского Полесья середины 80-х годов XX в. представлена в специальной литературе [12, 22]. Так, для всех рек Полесья характерным является наличие в воде большого количества ионов гидрокарбоната кальция: для рр. Турья, Стоход, Стырь, Горынь, Случь, Уж эта величина находится в пределах от 82,3 до 267,0 мг/л при минерализации до 458 мг/л; для бассейнов рр. Тетерева и Ирпня соответственно она составляет от 218,5 до 231,2 мг/л при минерализации до 441 мг/л; для рр. Десна, Остер, Сейм соответственно – от 181,0 до 205,9 мг/л при минерализации до 331 мг/л. Для тех же групп рек менее всего в водах характерно наличие ионов магния, соответственно: до 18,2 мг/л; до 17,2 мг/л; до 12,1 мг/л. Биогенные компоненты в реках составляют наименьшую часть от общего количества всех ионов.

Гидрохимическая характеристика малых и средних рек Украинского Полесья, в частности, минерализация и твердость поверхностных вод начала 2000-х годов XXI века представлена на рисунке 6.6 [1]. Здесь показано, что для территории Полесья средние значения минерализации поверхностных вод на 1990–2000 гг. составляли 250–500 мг/дм³, а средние значения твердости поверхностных вод на 1990–2002 гг. – 0–5 мг-экв/дм³. Также для данной территории характерно: речные воды зоны повсеместно гидрокарбонатно-кальциевые со средней минерализацией, которая изменяется от 164 мг/дм³ в бассейнах Ужа и Уборти до 354 мг/дм³ в бассейне Десны без Сейма, Остра, Снова. По другим данным [27], в бассейне реки Тетерев минерализация повышается до 329 мг/л, а в бассейне Снова и Десны (без бассейнов Сейма, Остра) соответственно снижается до 232 мг/л и повышается до 345 мг/л. Это связано с колебаниями содержания HCO_3^- и Ca^{2+} в разных районах. Химический состав и минерализация вод Полесья практически не отличаются от соответствующих показателей в естественных условиях. Значительно увеличивается в бассейне Припяти содержание гидрокарбонатов и ионов кальция (в 40–50 и 38–57 раз соответственно), что доказано исследованиями [11] на начало XXI века.

Минимальными значениями увеличения характеризуются сульфаты, ионы магния и ионы щелочных металлов (в речных водосборах в 2 и 5 раз).



Рис. 6.6. Минерализация и твердость поверхностных вод Украины

В результате дренирования эрозийной сети четвертичных и дочетвертичных отложений происходит обогащение речных вод химическими компонентами, которые попадают с подземными водами. Но компоненты, которые попадают таким образом, в речных водах составляют незначительный процент.

В пределах Украинского Полесья выделены однородные гидрохимические поля, для которых получены средние и фоновые статистические содержания химических компонентов в речных водах, два из которых относятся к бассейну Припяти [11]:

– бассейн правых притоков верховья Припяти (Турья, Стоход, нижнее и среднее течения Стыра, Горыни, Случа) – воды гидрокарбонатно-кальциевые, со средней минерализацией в период летней межени 335 мг/дм³;

– бассейн правых притоков устья Припяти (Уж, Уборть) – воды гидрокарбонатно-кальциевые, со средней минерализацией в период летней межени 134 мг/дм³.

Отличие в минерализации каждого из полей хорошо наблюдается с запада на восток. Содержимое ионов хлора в обоих случаях составляет 13 мг/дм³, а ионов натрия и калия соответственно 7 и 5 мг/дм³. В целом же речные воды Украинского Полесья – пресные и ультрапресные, очень мягкие и умеренно твердые. Слабокислые и нейтральные поверхностные воды летом в бассейнах Ужа и Уборти обусловлены максимальным содержанием гумусовых кислот в реках, почве и грунтовых водах, а также удельным весом кислых грунтовых вод в межени питания водоемов. В водах некоторых наиболее заболоченных рек (рр. Турья, Уж, Тетерев) увеличение содержимого CO₂ происходит за счет интенсивного дренирования болотных вод, которые богаты органикой. Интересно, что для этих рек одновременно характерно минимальное количество растворенного кислорода. Необходимо отметить, что в реки Полесья в значительных количествах попадают неорганические соединения азота от атмосферных и грунтовых вод, грунтовых растворов и стоков (склоновых, промышленных, бытовых), на водосборные площади которых вносятся минеральные и органические азотные удобрения.

В период межени концентрация железа в реках увеличивается за счет повышения удельного веса грунтового питания. Максимальное содержимое железа (до 2 мг/дм³ и больше) отмечены в водах бассейнов рр. Уж, Уборть, где разгружаются грунтовые воды с концентрацией этих ионов (до 8 мг/дм³ и боль-

ше). Оценка среднегодовых величин естественных генетических составляющих гидрохимического баланса в пределах Полесья представлена в (табл. 6.11) [11].

Таблица 6.11

Оценка среднегодовых величин естественных генетических составляющих гидрохимического баланса в пределах Полесья (в числителе химический состав, мг/дм³; в знаменателе – часть в формировании состава речных вод (по Л. М. Гореву)

Составляющие гидрохимического баланса	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Σ _и
Поверхностно-склоновый сток	54	7	8	144	24	10	247
	79	71	69	71	90	84	74
Подземный сток	61	12	15	250	11	8	357
	21	29	31	29	10	16	26
Атмосферная составляющая суммарного стока	3	4	5	9	21	4	46
	5	50	56	5	100	40	17
Суммарный сток за счет выщелачивания	52	4	2	156	0,0	4	218
	95	50	22	95		40	81
Суммарный сток за счет естественных генетических составляющих, %	100	100	78	100	100	80	98

Анализ таблицы 6.11 показывает, что поверхностно-склоновый сток в общем стоке растворенных минеральных веществ составляет 74 %. Соотношение в стоке отдельных ионов калия, магния, натрия, карбонатов, сульфатов и хлоридов соответственно составляет 79, 71, 69, 71, 90 и 84 %. Таким образом, суммарный ионный сток в Полесье и сток отдельных ионов формируются в основном за счет поверхностно-склоновых вод. На долю подземного ионного стока остается 26 %. В качественном отношении поверхностный и подземный сток также кое в чем отличаются. Кроме преобладающих ионов кальция и гидрокарбонатных ионов, в подземном стоке увеличивается содержание ионов натрия и калия. В поверхностно-склоновых водах больше хлора, а в подземных – меньше.

На долю атмосферной составляющей в ионном стоке отводится 17 %, при этом в стоке сульфатов около 100 %, хлора – 45 %, магния – 50 %, натрия и калия – 56 %. Таким образом, основная масса наиболее активных анионов и катионов формируется за счет атмосферных осадков.

За счет прямого выщелачивания горных пород формируется 81 % суммарного ионного стока, 95 % стока кальция, 50 % стока магния, 22 % стока натрия и калия, 95 % стока гидрокарбонатов и 40 % стока хлоридов.

За счет естественной составляющей формируется 98 % химического стока, в том числе сток кальция, магния, гидрокарбонатов, сульфатов – на 100 %, хлоридов – на 80 %, калия и натрия – на 78 %.

Химический состав притоков Припяти отличается. Это связано с разными условиями формирования их вод: болотными, напорными и грунтовыми (или смешанными). В результате этих особенностей реки бассейна можно разделить на две группы: первые питаются болотными водами и имеют повышенное количество цветных органических веществ и небольшое количество минеральных солей; воды второй группы, главным образом те, которые питаются грунтовыми водами, содержат небольшое количество цветных веществ, и концентрация минеральных солей у них более высока.

Так, в подземном питании рек Западного Полесья (рр. Выжевка, Турья, Стоход, Стырь, Горынь) основную роль играют карстовые воды мергельно-меловой толщи (верхнемеловые отложения), с чем связаны относительно большие величины минерализации (до 600–700 мг/дм³ в зимнюю межень) и выраженный гидрокарбонатно-кальциевый состав речных вод. Малые реки северного Полесья (рр. Уборть, Льва, Уж) питаются, главным образом – водоносными горизонтами песчаных отложений палеогена и четвертичных суглинков, частично (в зоне Словечанско-Овручской возвышенности) – трещиноватыми водами докембрия. Сформированные в результате такого влияния речные воды отличаются малыми величинами минерализации (до 200 мг/дм³). В период оттепелей минерализация речных вод уменьшается. Карстовые воды в бассейнах рр. Стыра и Горыни вносят повышенное количество кальция, магния, гидрокарбонатов и фосфатов. Химический состав вод рек Полесья представлен в таблице 6.12 [24].

По данным таблицы 6.12 видно, что величина годовых растворов минеральных веществ с атмосферными осадками в реках Полесья в среднем составляет 202,62 тыс. т, а величина атмосферной составляющей суммарного среднегодового ионного стока в среднем равна 76,67 тыс. т. Антропогенный ионный сток обуславливают ионы натрия и калия, хлора и сульфатов, их сток в среднем составляет 14,1 тыс. т/ч. Наименьшее значение антропогенного ионного стока в пределах Полесья – 0,4 т/км².

Более детальная оценка количественных характеристик химического состава поверхностных вод рек Украинского Полесья за период 80–90-х годов XX века и начало 2000-х годов XXI века для

25 рек по их паспортам была проведена на кафедре водохозяйственной экологии, гидрологии и природопользования НУВХП [27].

Таблица 6.12

Химический состав вод рек Полесья

Физико-географическая зона	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и
Полесья	Величины годовых растворов минеральных веществ с атмосферными осадками						
	80,8	92,9	129	238	562	113	1216
	0,8	0,9	1,4	2,7	6,1	1,2	13,1
	Величины атмосферной составляющей суммарного среднегодового ионного стока						
	30,8	35,3	49,0	90	212	42,9	460
	0,3	0,3	0,5	1,1	2,3	0,4	4,9
	Антропогенный ионный сток (в числителе – тыс. т/час, в знаменателе – т/км ² /час)						
0,0	0,0	20,9	0,0	0,9	20,5	42,3	
		0,2		0,0	0,2	0,4	

Примечание: в числителе – тыс. т, в знаменателе – т/км²

Исследования показали, что в основном речные воды Украинского Полесья являются пресными и ультрапресными. По величине общей жесткости, в соответствии с классификацией О. А. Алекина, они являются очень мягкими и умеренно жесткими. Среднее значение составляет 7,8, а зимой значения резко снижаются. Образование слабокислых и нейтральных поверхностных вод в бассейнах Ужа и Уборти летом объясняется максимальным для этой части Украинского Полесья содержанием гумусовых кислот в реках, почвах и грунтовых водах. В водах наиболее заболоченных рек (рр. Турья, Уж, Тетерев) их содержание увеличивается в результате интенсивного дренирования болотных вод, в которых высокое содержание органики и минимальное количество растворенного кислорода. С увеличением внесения концентраций минеральных и органических удобрений увеличивается их количество и в грунтовых водах. Распределение суммарной концентрации главных ионов в реках Украинского Полесья представлено на рисунке 6.7 [27].

Подавляющее большинство веществ, которые приходят из всех источников в бассейн реки, аккумулируются грунтово-растительным покровом на поверхности бассейна и в речной сети гидробионтами и донными отложениями (84–96 %). Известно, например, что сток азота колеблется в пределах 6–17 % от суммы поступлений, фосфора – 4–11 %, кремния – 6–27 %. Количество железа в реках зоны повышается в весенний период в результате интенсивного поверхностного стока, который вымывает из почвы зоны аэрации гумусовые соединения. Максимальное количество железа (до 2 мг/л и больше) отмечается в водах бассейнов рр. Ужа, Уборти, Тетерева. Большая роль и местного стока в формировании химического состава речных вод, на Полесье он составляет 74 %.

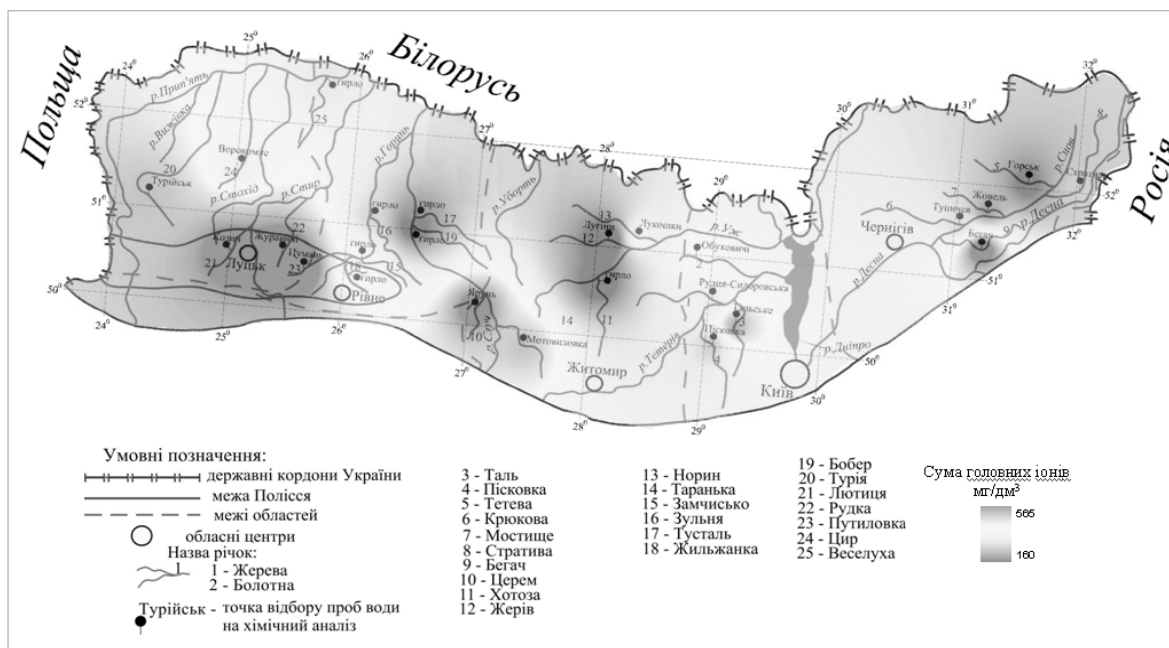


Рис. 6.7. Распределение суммарной концентрации главных ионов в реках Украинского Полесья

Анализ рисунка 6.7 показывает, что наиболее загрязненные поверхностные воды в верховьях рек Западного и юга Центрального Полесья (рр. Выжевка, Турья, Лютица, Рудка, Церем, Путиловка), где сумма главных ионов превышает 500 мг/дм^3 , а наименьшие величины – в реках Тусталь, Бобр, Норын, Жеров, Уборть, Тетерев, верховье бассейна Десны, где сумма главных ионов до 200 мг/дм^3 .

Следовательно, на основании многолетних данных химического состава речных вод можно сделать следующие выводы:

1. В химическом составе речных вод Украинского Полесья наблюдается четкая гидрохимическая зональность (от западных и северо-западных к восточным и юго-восточным границам страны).
2. Гидрохимическая зональность наблюдается независимо от направления течения рек и хорошо согласуется с пределами физико-географических зон. Так, в зоне смешанных лесов (Украинское Полесье) распространены пресные воды гидрокарбонатно-кальциевые.
3. Зональность химического состава и минерализации речных вод сохраняется во все периоды года, в среднем за год и за многолетие, как в естественных условиях, так и в условиях влияния антропогенных факторов [13].
4. Гидрохимический режим рек бассейна Припяти, главным образом, зависит от естественных факторов формирования этих рек.

6.7. Режим стока наносов

Главными факторами формирования твердого стока являются эродированность территории, глубина вреза речной долины, характер атмосферных осадков. Важное значение также имеет естественная или искусственная зарегулированность стока. Совместное действие этих факторов предопределяет то, что средняя многолетняя мутность воды разных рек колеблется в больших пределах. С увеличением размеров рек мутность воды и модуль твердого стока преимущественно уменьшаются. Это обусловлено большей пологостью склонов на больших водосборах, уменьшением транспортирующей способности потока и т. п.

Традиционно речные наносы разделяют на *зависшие* и *подвижные*. Такое разделение является условным, поскольку одни и те же наносы в зависимости от скорости течения могут переходить в зависшую или подвижную форму. Установлено, что на равнинных реках в зависшем состоянии транспортируется до 90 % твердого стока, а часть придонных наносов обычно не превышает 10 % [12].

Процесс обмена частицами происходит на реках непрерывно. Это предопределяет и непрерывность процесса руслоформирования. Подвижные наносы на равнинных реках по большей части передвигаются в виде пасм. На сегодня можно оценить лишь режим стока по взвешенным наносам, так как наблюдения за донными наносами не проводятся. Режим стока наносов характеризуются такими показателями: мутность воды в г/м^3 ; расход взвешенных наносов в кг/с ; модули стока взвешенных наносов в $\text{т}/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$.

Обобщенные наблюдения за мутностью на территории Украины на середину 80-х годов XX века представлены в виде карты (рис. 6.8) [22]. Этот период считался репрезентативным для его оценки в многолетнем разрезе, так как включал в себя для большинства рек всю амплитуду изменения их водности. Карта составлена для данных наблюдений на реках площадью водосбора свыше 200 км^2 , поэтому территориально она не является достаточно репрезентативной для водосборов малых рек.

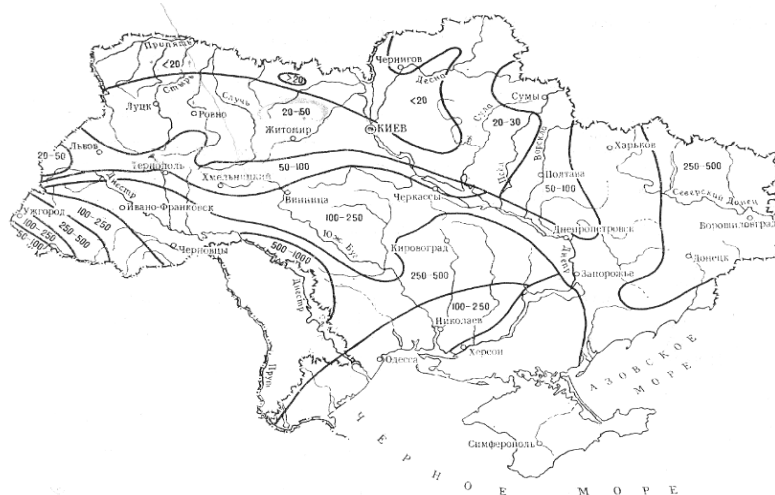


Рис. 6.8. Средняя многолетняя мутность воды, г/м^3 рек с площадью водосбора свыше 200 км^2

Обобщенные наблюдения за мутностью на территории Украины на конец 80-х годов XX века представлены в виде карты (рис. 6.9) [12], построенной на реках с площадью водосбора до 3000 км².

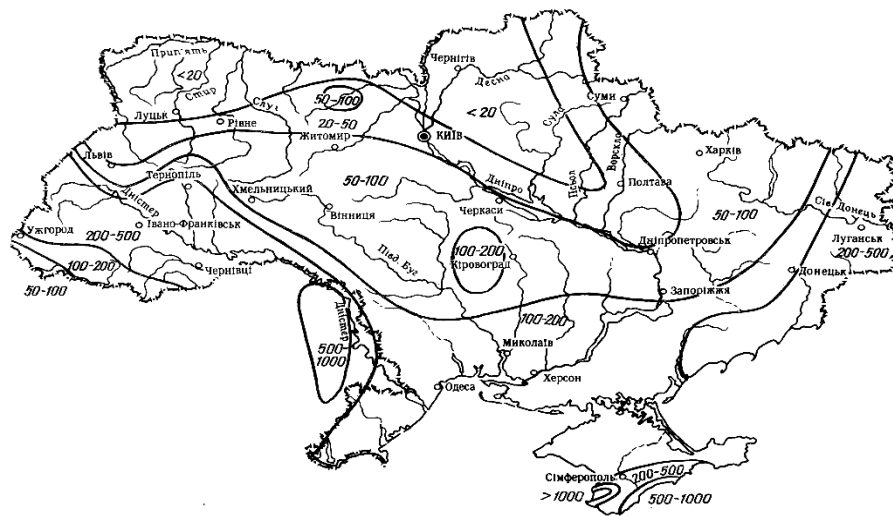


Рис. 6.9. Средняя многолетняя мутность воды, г/м³ рек с площадью водосбора свыше 3000 км²

На этих картах представлены величины многолетней мутности для отдельных территорий. В целом, очертания районов на этих картах совпадают. Анализируя их, можно сказать, что наименьшую мутность имеют реки северной части правобережья Украинского Полесья и большей части Черниговского Полесья (менее 20 г/л). Южная часть правобережья Украинского Полесья и восточная часть Черниговского и все Новгород-Северское Полесье характеризуется мутностью воды в реках от 20 до 50 г/л. Обобщенная информация о мутности воды рек Украинского Полесья на начало 2000-х годов XXI века представлена картой на рисунке 6.10 [1]. Она показывает, что диапазоны изменения мутности на реках Украинского Полесья остались в пределах от менее 20 до 50 г/м³, но при этом существенно изменились очертания районов с соответствующими значениями мутности. Так, в восточном Полесье отсутствуют районы с мутностью меньше 20 г/л.

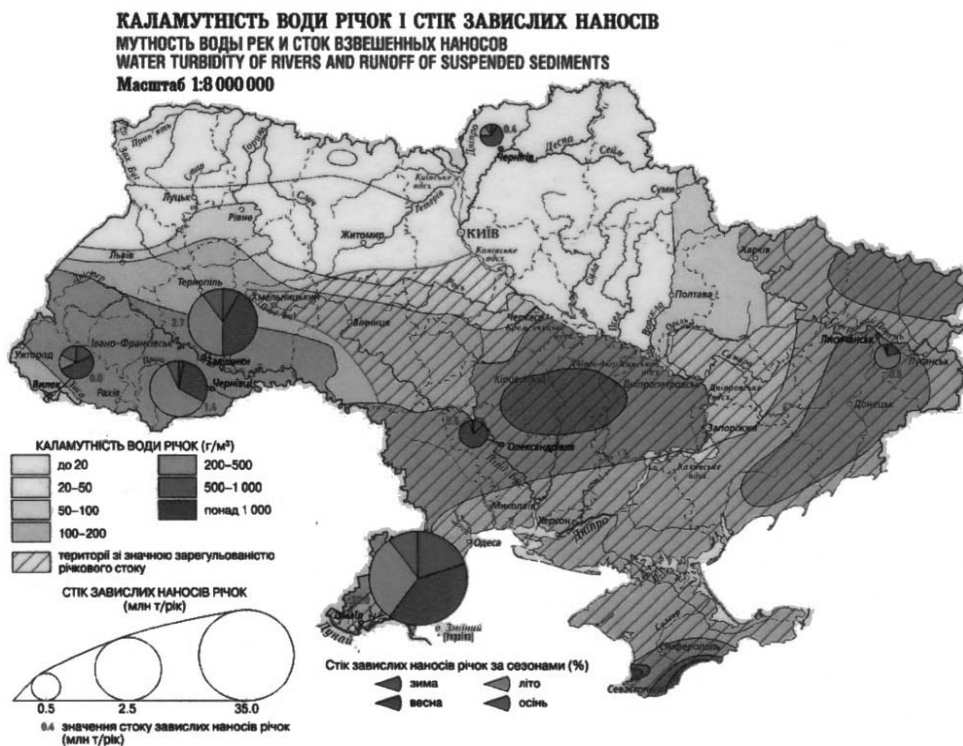


Рис. 6.10. Мутность воды рек Украины и сток зависших наносов

По результатам наблюдений за мутностью проведено типичное распределение среднего числа дней в году с мутностью больше 50, 100, 500, 1000 г/м³ [22]. Его распределение определяют в целом

для Украинского Полесья по данным максимальной мутности и среднемноголетней мутности. Пространственный анализ мутности воды рек бассейна Припяти [11] показывает, что в целом она незначительна, особенно для рек Полесской низменности. Здесь величины мутности не превышают 10 г/м^3 . Она начинает расти на реках, которые дренируют территорию Вольно-Подольской возвышенности и Словечанско-Овручский кряж. Величина мутности колеблется соответственно в пределах от 226 г/м^3 (р. Иква – с. Великие Млыновцы) до 30 г/м^3 (р. Случь – с. Громада) (табл. 6.13).

Таблица 6.13

Сток наносов и мутность рек бассейна Припяти

Название реки, гидрологического створа	Среднегодовой расход наносов, кг/с	Среднегодовой сток наносов, тыс. т	Модуль стока наносов, т/(км ² ·год)	Средняя многолетняя мутность, г/м ³
Припять – с. Речица	0,008	0,25	0,11	1,0
Выжевка – с. Руда	0,001	0,03	0,22	1,5
Турья – г. Ковель	0,036	1,14	0,77	8,8
Стырь – с. Щуровцы	0,11	3,47	1,72	10
Стырь – г. Луцк	1,20	37,8	5,30	39
Иква – с. Великие Млыновцы	0,74	23,3	36,9	226
Горынь – пгт. Ямполь	1,14	35,9	25,7	189
Горынь – с. Деражное	1,54	48,6	5,20	38
Случь – с. Громада	0,25	7,88	3,18	30
Случь – г. Сарны	3,81	120	9,03	73
Уборть – с. Перга	0,18	5,68	1,97	14

Сток взвешенных наносов характеризуется показателями: расходом взвешенных наносов в кг/с и модулем стока взвешенных наносов в т/(км²·год). Относительная эрозионная стойкость земель вместе с аккумуляцией наносов в ставках и водохранилищах предопределяет сравнительно меньшие величины стока взвешенных наносов для большей части Украинского Полесья [12]. Среднемноголетние расходы, их коэффициенты асимметрии и вариации, а также расходы взвешенных наносов обеспеченностью 1, 5, 10 и 25 % приведены в литературе [12, 22] и в таблице 6.14.

Таблица 6.14

Характеристика стока взвешенных наносов рек Украинского Полесья

Река, гидрологический пост	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдения, лет	Параметры кривой обеспеченности			Речной сток взвешенных наносов, кг/с, вероятность превышения, %			
			R, кг/с	C _{VR}	C _{SR}	1	5	10	25
Горынь – с. Ямполь	1400	25	1,38	0,68	2,3	5,03	3,31	2,67	1,83
Горынь – с. Деражное	9160	27	1,64	0,80	1,73	6,14	4,21	3,35	2,20
Случь – с. Громада	2480	27	0,49	2,55	25,0*	4,96	1,90	1,10	0,47
Случь – г. Сарны	13300	17	7,08	0,69	1,67	23,7	16,7	13,5	9,30
Норин – с. Славенщина	804	24	0,45	1,11	6,0	2,48	1,30	0,92	0,54
Уж – пгт. Полесское	5960	29	0,32	0,76	1,63	1,16	0,81	0,66	0,43
Тетерев – с. Макалевичи	7890	28	1,45	1,36	3,25	9,60	5,30	3,60	1,72
Ирпень – с. Мостище	2840	23	0,47	0,75	1,57	1,66	1,16	0,94	0,63
Десна – г. Чернигов	81400	32	14,1	0,34	0,03	25,3	21,9	20,1	17,2
Сейм – с. Мутино	25600	28	4,83	0,99	5,00*	23,6	13,0	9,49	5,73

Примечание: * пункты, в которых распределение эмпирических точек описывается логарифмически нормальной кривой.

Изменчивость стока наносов более высока, чем стока воды. Об этом свидетельствуют коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s) среднегодовых расходов взвешенных наносов для рек бассейна Припяти, которые изменяются в пределах C_v=0,69–2,55 и C_s=1,63–3,70. Максимальные величины изменчивости характерны для рек с наибольшим стоком наносов. Анализ данных этой таблицы показывает, что величины стока наносов небольшие. Это обусловлено такими факторами, как незначительная эродированность территории, небольшая глубина вреза речных долин и, как правило, небольшая интенсивность выпадения атмосферных осадков. Вместе с тем в верховье рр. Стырь, Горынь, Случь роль упомянутых факторов растет, что ведет к увеличению стока наносов. Также можно оценить сток взвешенных наносов Украинского Полесья в единицах массы (млн. т/год) с помощью карты (рис. 6.10). Модуль стока взвешенных наносов рек Полесья составляет в среднем 5–10

$t/(км^2 \cdot год)$. Для территории Украинского Полесья также можно использовать региональные эмпирические формулы УкрНИИГиМ. Они позволяют для водосборов Украинского Полесья, которые не охвачены наблюдениями, определить средний годовой модуль стока взвешенных наносов с использованием среднего годового модуля стока и коэффициента зарегулированности речного стока, который учитывает озерность и заболоченность водосбора [22].

Характерной особенностью стока взвешенных наносов малых рек является значительная внутригодовая изменчивость, которая играет важную роль в использовании водных ресурсов. По большей части он формируется в период весеннего половодья и нескольких дождевых паводков. Обобщенные наблюдения в середине 80-х годов XX века за частью стока взвешенных наносов, которые приходятся на весеннее половодье на территории Украины, представлены в виде карты (рис. 6.11) [12].

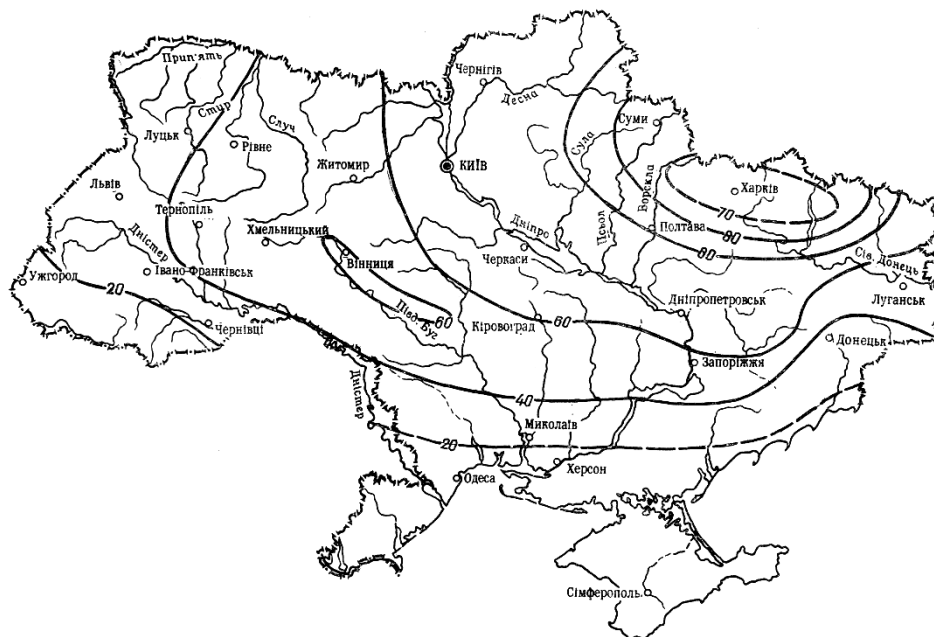


Рис. 6.11. Часть стока взвешенных наносов рек Украины, которая приходится на весеннее половодье (за многолетний период)

В целом, для Украинского Полесья эта часть растет с запада к востоку меньше чем от 40 до 80 %. Для части твердого стока рек бассейна Припяти также характерна достаточно значительная изменчивость стока взвешенных наносов, особенно для малых рек бассейна. Часть стока, который приходится на весеннее половодье, в процентном соотношении изменяется от 30–40 % на западе бассейна (рр. Турья, Стоход, Стырь) до 50–60 % на востоке – рр. Уборть, Уж. Уменьшение процента стока наносов в половодье для западных притоков обусловлено мягкими зимами и ростом активности паводков на этих реках [12, 22].

По гидрологическому районированию территория Украинского Полесья охватывает зону чрезмерной водности (Полесская и Деснянская области) и Верхнеприпятско-Бугскую подобласть чрезмерной водности, расположенную в зоне достаточной водности. По ландшафтно-гидрологическому районированию Украинское Полесье отличает смешанно-лесной ландшафтно-гидрологической зоне (Припятская и Деснянская ландшафтно-гидрологические провинции) и Волынский возвышенный ландшафтно-гидрологический район широколиственной лесной влажной ландшафтно-гидрологической зоны. Пределы провинций и районов, областей и подобластей фактически совпадают.

Пределы зон по гидрологическому и ландшафтно-гидрологическому районированию соответствуют физико-географической зоне смешанных лесов. Оценка гидрографических характеристик территории Украинского Полесья проведена по данным конца 80-х – начала 90-х годов конца XX века. В связи с наличием естественной и искусственной поверхностной гидравлической связи между водосборами рек и наличием большого количества мелиоративных каналов гидрографические характеристики данной территории нуждаются в детальном учете с использованием ГИС-технологий и периодического дальнейшего их обновления.

Наблюдения за гидрологическим, термическим и ледовым режимом проводятся на 49 постах. Госгидрометеоцентра Украины. Непрерывные ряды наблюдений за расходом воды ведутся начиная с 1945 г. приблизительно на 50 % постах. Сеть постов наблюдения за гидрохимическим режимом поверхностных вод существенно расширилась после 1986 года. Мониторинг качества поверхностных

вод виконується на 114 постах різної підчиненості. Широке розповсюдження прибувають автоматичні гідрологічні станції (пости). На території Українського Полісся їх п'ять – Любязь-Припять, Любешов-Стьір, Любанський мост-Припять, а також на р. Дніпр – Київ-Дніпр.

Уменьшилась часті сніжного живлення річок Українського Полісся. Воно вже не представляє собою подавляючу часті річного стоку. Рістє часті підземного живлення, вона майже вирівнялась з часті сніжного живлення. В районах розповсюдження карстових порід підземне живлення стало преобладаючим. Состоялось вирівнювання внутрірічного розподілу стоку. Весеннє половоддє практично вже не найбільш багатоводна фаза водного режиму. Найбільш багатоводною фазою стає літнє-осіння межень. Середні річні витрати змінились несуттєво. Терміни лімітуючих періодів і сезонів не змінились, за виключенням правобережжя Полісся.

На початок ХХІ століття на річках Українського Полісся преобладаючим видом живлення було сніжне (42–57 %). При цьому його часті рістє з заходу на схід, приче більше в правобережній часті Українського Полісся (24–27 %) і різко зменшується в басейні Десни. Часті підземного живлення є відносно стабільною (23–31 %). Річний змінення рівнів на річках Українського Полісся характеризується високим весеннім половоддєм, низькою меженню, котра переривається паводками від випадання дощу і таяння снігу. Найвищі рівні води відповідають весенньому половоддю, вони більше, че найвищі рівні дощових паводків. Мінімальні рівні води відповідають літнє-осінній межени. Амплітуди рівнів води збільшуються з рістєм площі водозбору.

Середня температура води в апрелі на северному сході Левобережного Полісся – 8 °С. В має температура води в середньому рівна: на северно-сході Полісся – 15 °С, в іюнє на севері Полісся – околу 20 °С; в іюлє на крайньому северно-заході і северно-сході – 21 °С. На севері і северно-сході країни температура води складає в августі 20 °С, в сентябрі – 14 °С, в октябрі – 8 °С. Різниця в річних температурах значебно більше.

В хімічному складі річних вод Українського Полісся спостережується чітка гідрохімічна зональність (від західних і северно-західних к східним і юго-східним границям країни). В цьому жє напрямленні збільшується і мінералізація річних вод. Гідрохімічна зональність спостережується незалежно від напрямлення течення річок і добре збігається з границями фізико-географічних зон. Так, в зоні змішаних лісів (Українське Поліссьє) розповсюджені гідрокарбонатно-кальцієві прісні води. Зональність хімічного складу і мінералізації річних вод зберігається во всі періоди ріка, в середньому за ріка і за багаторіччє, як в естєвенних умових, так і в умових впливу антропогенних факторів.

Найменшу мутність мають річки северної часті правобережжя Українського Полісся (менше 20 г/л). Южна часті правобережжя Українського Полісся і Чернігівське і все Новгород-Северське Поліссьє характеризується мутністю води в річках від 20 до 50 г/л. Модуль стоку завислих наносів річок Полісся складає в середньому 5–10 т/ (ріка·км²). Часті стоку взвешених наносів в основному припадає на весеннє половоддє на території України. В цілому, для Українського Полісся ця часті рістє з заходу к сходу менше че від 40 до 80 %.

Література

1. Національний атлас України. К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
2. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України : підручник. – 3-тє вид., стер. – К. : Т-во «Знання», КОО, 2006. – 511 с.
3. Географічна енциклопедія України : в 3 т. / ред. кол. О.М. Маринич [та ін.]. – К.: Українська Радянська Енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1989. – Т. 1.: А – Ж. – 416 с.
4. Географічна енциклопедія України : в 3 т. / ред. кол. О. М. Маринич [та ін.]. – К.: Українська Радянська Енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1989–1993. – Т. 3.: П–Я. – 480 с.
5. Гребін В. В. Сучасний водний режим річок (ландшафтно-гідрологічний аналіз). – К.: Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
6. Географічна енциклопедія України : в 3 т. / ред. кол. О. М. Маринич [та ін.]. – К.: Українська Радянська Енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1990. – Т. 2.: З–О. – 480 с.
7. Лобода Н. С. Розрахунок та узагальнення характеристик річного стоку річок України в умовах антропогенного впливу. – Одеса: Екологія, 2005. – 208 с.
8. Гребін В. В., Чорноморець Ю. О. Використання багатомірного статистичного аналізу для ландшафтно-гідрологічного районування території України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. – Т. 16. – С. 21–35.
9. Стеблевець Д. П., Стеблевець П. П. Перспективи використання річкового стоку на Прип'ятському Поліссі // Українське Поліссьє: вчора, сьогодні, завтра: зб. наук. пр. – Луцьк: Надстир'я, 1998. – С. 67–68.
10. Вивчення стану і якості поверхневих вод Рівненської області / під наук. кер. М. Д. Будза ; звіт про наук. роб. – Рівне: АНУ, Рівненський відділ географічного товариства України, УІВГ, 1995. – 113 с.

11. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / под общ. ред. М. Ю. Калинина и А. Г. Ободовского. – Минск: БЕЛСЭНС, 2003. – 269 с.
12. Малі річки України : довідник / за ред. А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Богатов [та ін.]. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.
13. Клименко В. Г. Гідрологія України : навчальний посібник для студентів-географів. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – 124 с.
14. Паламарчук М. М., Загорчевна Н. Б. Водний фонд України : довідковий посібник. – 2-е вид., доп. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 320 с.
15. Соколовский Д. Л. Речной сток (основы теории и методики расчетов). – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 540 с.
16. Гідрологічні розрахунки для річок України / відп. ред. Г. І. Швець. – К.: Вид-во АН УРСР, 1962. – 262 с.
17. Левковский С. С. Водные ресурсы Украины. Использование и охрана. – К.: Вища школа, 1979. – 200 с.
18. Галущенко Н. Г. Гидрологические и водно-балансовые расчеты. – К.: Вища школа. Головн. изд-во, 1987. – 248 с.
19. Галущенко О. М. Водний баланс річкових водозборів басейну Дніпра за маловодні та багатоводні роки // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: Ніка-Центр, 2000. – Том 1. – С.173–176.
20. Галущенко М. Г., Ромась І. М. Умови формування та розрахунки мінімального стоку річок басейну Дніпра (в межах України) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: Ніка-Центр, 2001. – Т. 2. – С. 289–295.
21. Чорноморець Ю. О., Гребінь В. В. Багаторічна динаміка режиму живлення річки Десна // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. – К.: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2010. – Т. 3 (20). – С. 59–67.
22. Справочник по водным ресурсам / под ред. Б. И. Стрельца. – К. : Урожай, 1987. – 304 с.
23. Аналіз водного режиму річок басейну р. Десна приграничних областей / Я. І. Лепіх [та ін.] / зб. наук. праць. Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – № 1104. Серія «Екологія». – Вип. 10. – 2014. – С. 94–98.
24. Яцык А. В. Экологические основы рационального водопользования. – К.: Генеза, 1997. – 628 с.
25. Сніжко С. І. Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем. – К. : Ніка-Центр, 2004. – 394 с.
26. Комплексные оценки качества поверхностных вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 137 с.
27. Косяк Д. С. Оптимізація водоохоронних зон річок Українського Полісся : дис. ... канд. геогр. наук. : гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія. – Київ: ДВНЗ «Київський нац. ун-т імені Тараса Шевченка», 2010. – 215 с.

Глава 7. ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

7.1. Речной сток

Одной из основных гидрологических характеристик является средний многолетний сток, или норма годового стока. При водохозяйственном проектировании норма стока определяет потенциальные водные ресурсы речного бассейна или административного района, а также является исходной величиной при определении стока расчетных обеспеченностей. Обобщающая оценка характеристик речного стока в целом для Украинского Полесья на середину 80-х годов XX века приведена в специальной литературе [1, 2] (табл. 7.1). По состоянию на начало XXI века для рек бассейна Припяти были составлены основные характеристики среднего годового стока за многолетний период [3] (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Средние многолетние характеристики речного стока и водные ресурсы рек Полесского края в годы разной обеспеченности

№ п/п	Река, гидрологический пост	Площадь бассейна, км ²	Речной сток			Водные ресурсы, км ³		
			Среднеголетние величины			Обеспеченность, P, %		
			Q, м ³ /с	M, л/(с·км ²)	W, км ³	50	75	95
<i>Бассейн Припяти (правобережные притоки)</i>								
1	Припять – с. Речица	2210	8,50	3,85	0,268	0,227	0,131	0,049
2	Выжевка – с. Старая Выжевка	722	2,64	3,66	0,083	0,076	0,052	0,028
3	Турья – с. Ягодное	459	1,49	3,25	0,047	0,042	0,029	0,017
4	Турья – г. Ковель	1480	4,35	2,94	0,137	0,123	0,089	0,055
5	Турья – с. Бузаки	2630	10,3	3,92	0,325	0,273	0,171	0,081
6	Стоход – с. Любешов	2970	10,4	3,50	0,328	0,295	0,212	0,131
7	Стоход – с. Малиновка	692	1,83	2,64	0,058	0,053	0,037	0,020
8	Стырь – с. Млынок	10900	43,4	3,98	1,37	1,33	1,09	0,821
9	Горынь – с. Речица	27000	96,8	3,59	3,05	2,90	2,27	1,56
10	Случь – с. Громада	2480	8,46	3,41	0,267	0,256	0,189	0,112
11	Случь – г. Сарны	13300	48,6	3,65	1,53	1,40	1,02	0,615
12	Тня – с. Броники	982	3,61	3,68	0,114	0,100	0,055	0,017
13	Смолка – с. Суслы	632	1,99	3,15	0,063	0,057	0,037	0,019
14	Льва – с. Осницк	276	1,41	5,10	0,045	0,093	0,026	0,014
15	Уборть – с. Рудня Ивановская	510	1,87	3,67	0,059	0,052	0,030	0,010
16	Уборть – с. Перга	2880	12,0	4,17	0,379	0,328	0,198	0,083
17	Уж – г. Коростень	1450	4,44	3,06	0,140	0,125	0,080	0,038
18	Уж – с. Полесское	5690	18,9	3,32	0,596	0,517	0,328	0,155
19	Ирпень – с. Мостыще	2840	7,41	2,61	0,234	0,207	0,147	0,088
<i>Бассейн Десны</i>								
20	Десна – г. Чернигов	81400	320	3,93	10,09	9,68	7,95	5,93
21	Убедь – с. Кудровка	970	4,41	4,55	0,139	0,132	0,108	0,084
22	Сейм – с. Мутино	25600	100	3,91	3,15	2,98	2,32	1,58
23	Снов – с. Носовка	7140	25,2	3,53	0,795	0,754	0,609	0,467
24	Остер – х. Кривицкий	2750	5,04	1,83	0,159	0,123	0,061	0,016

Наибольшую водность на данной территории имеют рр. Десна, Горынь, Стырь, Случь. Так, суммарно по величине расходов рр. Стырь, Горынь и Случь составляют приблизительно 80 % общего стока Украинской части бассейна Припяти.

Условия формирования годового стока опосредованно могут быть оценены на картах среднего многолетнего стока, которые построены в модулях стока (л/(с·км²)) или слоях стока (мм). Карта модуля среднего многолетнего стока рек Украины (рис. 7.1) построена по данным наблюдений к середине 80-х годов XX века [1].

Территориальное распределение этой характеристики для Деснянской гидрологической области фактически является широтным, модули растут с юга на север. Распределение этой же характеристики в Полесской гидрологической области фактически является азональным. Наибольшие их значения (свыше 4,0 л/(с·км²)) отвечают верховьям Припяти, низовьям рр. Стырь и Горынь (свыше 5,0 л/(с·км²)). Но в целом для восточного и западного Полесья модули стока уменьшаются с запада на восток.

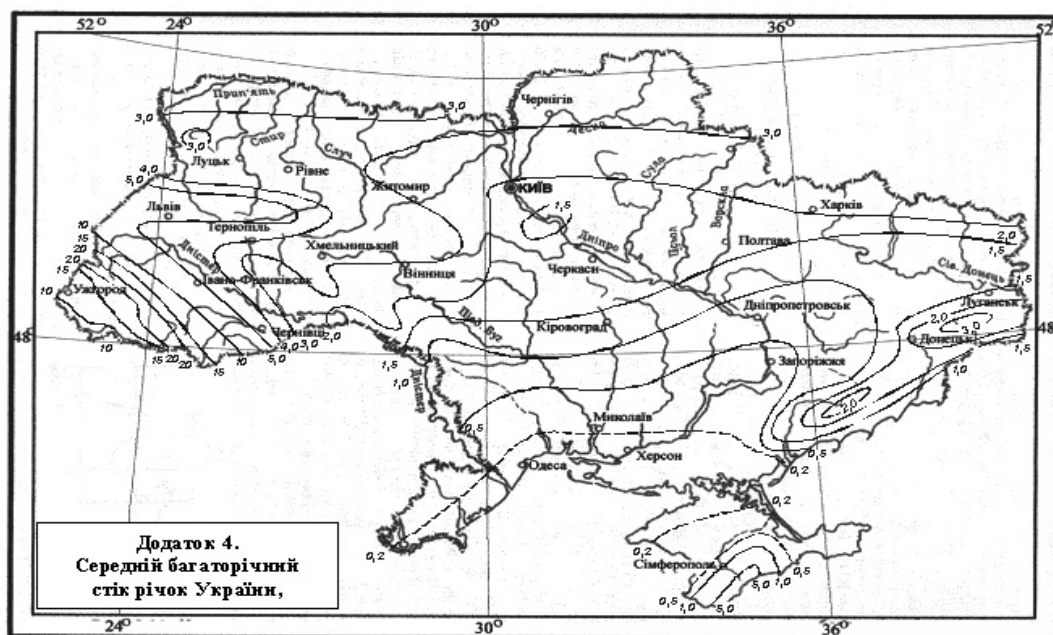


Рис. 7.1. Средний многолетний сток рек Украины, л/(с·км²)

Карты модуля годового стока (рис.7.2) [4], которые построены по данным наблюдений к началу XXI века, показывают рост водности рек Украинского Полесья. Средние многолетние модули стока для территории Украинского Полесья изменяются от 4,5 до 2,0 л/(с·км²), при этом их наибольшие значения также наблюдаются в Полесской гидрологической области. Территориальные распределения этой характеристики остались такими же: азональные – в Полесской гидрологической области и широтные – в Деснянской гидрологической области. В Полесской гидрологической области центр наибольшего среднего многолетнего модуля стока сместился на юг (в среднем течении рр. Стыра, Горыни).

Исследования, которые проводились в бассейне Припяти [3], показывают, что наибольшую удельную водность имеют реки, которые расположены в верховьях Стыра и Горыни (свыше 5,0 л/(с·км²)). Наименьшие значения этих показателей (менее 3,0 л/(с·км²)) характерны для рек верхней части р. Турья и бассейна р. Уж (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Многолетние характеристики речного стока рек Полесья Украины

Название реки, гидрологический пост	Площадь водосбора, км ²	Количество годов наблюдений	Средний многолетний расход воды, м ³ /с	Коэффициент вариации, C _v	Коэффициент асимметрии, C _s
<i>Бассейн Припяти (правобережные притоки)</i>					
Выжевка – с. Руда	141	33	0,60	0,53	0,75
Выжевка – с. Старая Выжевка	722	27	2,78	0,46	0,78
Турья – с. Ягодное	459	33	1,33	0,58	1,78
Турья – г. Ковель	1480	44	4,18	0,54	1,43
Стоход – с. Любешов	2970	31	11,4	0,67	1,97
Стоход – с. Малиновка	692	25	1,37	0,61	1,37
Горынь – пгт. Ямполь	1400	40	5,98	0,24	0,55
Горынь – с. Оженин	5860	33	23,5	0,29	0,55
Вырка – с. Сварыни	231	32	0,79	0,59	2,00
Случь - г. Сарны	13300	43	45,5	0,54	1,35
Тня – с. Броники	982	37	3,17	0,66	1,10
Смолка – с. Суслы	632	34	1,94	0,62	1,30
Уборть – с. Рудня Ивановская	510	33	1,51	0,58	0,95
Уборть – с. Перга	2880	25	10,9	0,57	1,20
Уж – г. Коростень	1450	33	3,29	0,72	1,71
Уж – с. Полесское	5690	59	17,9	0,61	1,40
Ирпень – с. Мостыще	2840	34	9,26	0,53	1,28
<i>Бассейн Десны</i>					
Десна – г. Чернигов	81400	83	323	0,31	0,87
Сейм – с. Мутино	25600	50	100	0,37	0,90

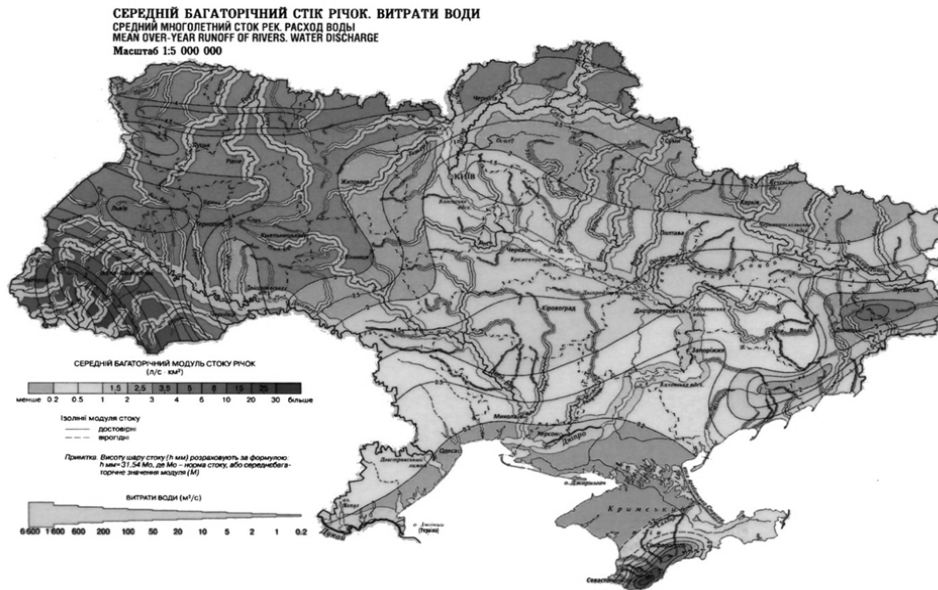


Рис. 7.2. Средний многолетний сток рек Украины

При определении нормы стока всегда рассчитывают коэффициенты вариации и асимметрии. Коэффициент вариации отображает отклонение величины расходов от среднего значения и зависит в первую очередь от постоянства климата и повышается от его засушливости. Поэтому коэффициент вариации будет меньшим для рек северной части Украины, которые имеют соответственно меньшие колебания стока. Кроме того, для одних и тех же районов коэффициенты вариации стока за отдельные сезоны могут иметь разные значения, потому что на формирование стока в разные сезоны влияют разные факторы. Например, в районе с благоприятными условиями подземного питания летний сток, который формируется преимущественно за счет этого питания, может иметь небольшой коэффициент вариации, а весенний сток, который формируется в зависимости от характера снегонакопления, может иметь в том же районе большие значения коэффициента вариации. Если оценить годовой сток по картам изолиний коэффициента вариации, которые построены по материалам наблюдений в середине 80-х годов XX века для рек с площадью водосбора от 1000 до 50000 км² [1], то коэффициент вариации годового стока в Украинском Полесье изменяется от 0,24 до 0,72. Наибольший диапазон коэффициентов вариации характерен для Полесской гидрологической области (0,24–0,72). А в Деснянской гидрологической области они изменяются от 0,4 до 0,6. В Полесской гидрологической области территориальное распределение изолиний коэффициента вариации является сложным и определяется двумя центрами. Первый расположен в западном Полесье, в верховьях рек Стырь и Горынь. Здесь значения коэффициентов вариации могут быть меньше, чем 0,3. Второй центр больших коэффициентов вариации годового стока расположен в бассейнах рек Уж, Тетерев и находится в Центральном Полесье. Территориальное распределение изолиний коэффициентов вариации годового стока для Деснянской гидрологической области (в Восточном Полесье) имеет переходный характер от зонального к меридианальному. Они уменьшаются по территории в направлении с юго-запада на северо-восток.

Коэффициент асимметрии годового стока характеризует степень несимметричности ряда случайной величины среднегодовых расходов воды, которая рассматривается относительно среднемноголетнего значения. Ряды наблюдений среднегодовых расходов воды имеют положительную асимметрию, и поэтому коэффициенты асимметрии изменяются для рек Украинского Полесья в диапазоне от 0,55 до 2,0 (табл. 7.2) [1, 2]. По данным исследований [3], соотношение между коэффициентами вариации и асимметрии для рек бассейна Припяти Украинского Полесья изменяется от 1,0 до 3,5.

Многолетние гидрологические характеристики стока рек Полесья приведены в справочниках и научных исследованиях [1, 2, 5, 6]. Последние данные исследований показывают, что средний многолетний расход воды и меженный сток на реках Полесья с годами несколько увеличивается, особенно в верховьях гидропостов, в результате чего внутригодовое распределение стока из мелиорируемых водосборов становится равномерным [4, 5, 6]. На это влияют как естественные (климатические, геоморфологические, грунтово-геологические, гидрологические), так и антропогенные факторы (отбор воды из рек, сбросы сточных вод, строительство сооружений, застройка заводов рек и т. п.).

Кроме того, в связи с неравномерным распределением стока на протяжении года, а также из года в год практически может быть использована только часть среднего и годового стока. Поэтому данные о среднегодовом стоке характеризуют лишь потенциальные водные ресурсы и водообеспеченность. Реальные и эксплуатационные водные ресурсы в разных естественных условиях дают разный процент нормы стока. Так, среднемноголетние характеристики годового стока и качественные значения водных ресурсов рек Полесского края в годы разной обеспеченности ($P = 50, 75$ и 95%) приведены в таблице 7.1 [1, 2, 7].

Необходимо отметить, что сток определенной обеспеченности характеризуется значительной переменчивостью. Особенно это касается малых рек региона. Так, последние исследования показывают, что в год 75%-ной обеспеченности речной сток средних рек – Стырь, Горынь, Случь уменьшается в 1,2–1,4 раза, в то время как сток малых рек уменьшается в 1,6–3,6 раза. Если объем стока средних рек составляет 73–82 % от уровня среднего по водности года, то для малых рек этот показатель составляет всего 28–63 %. Еще больше уменьшаются объемы стока для года с 95%-ной обеспеченностью (очень маловодного). Так, для средних рек он составляет 44–61 % от стока 50%-ной обеспеченности, а для малых рек – всего 15–30 %.

7.2. Внутригодовое распределение стока рек

Внутригодовое распределение стока рек обусловлено зональными и азональными факторами. К *зональным* относят климатические условия и грунтово-растительный покров. Лесные массивы в бассейнах рек уменьшают весенний сток и увеличивают относительные величины стока меженного периода. Лесистость бассейнов периодических водотоков, лишенных подземного питания, уменьшает меженный сток рек и увеличивает длительность периода нулевого стока. К *азональным* относят геоморфологическое строение бассейна, его размеры, гидрографические и гидрогеологические характеристики, хозяйственную деятельность. Зарегулированность рек ставками и водохранилищами почти всегда уменьшает неравномерность внутригодового распределения стока. На территории Полесья (в зоне осушительных мелиораций) на внутригодовое распределение стока значительное влияние оказывают проведенные мелиоративные мероприятия.

На больших и средних реках внутригодовое распределение стока обусловлено преимущественно зональными факторами, на малых реках – азональными факторами. Распределение стока по месяцам и сезонам определяется преимущественно внутригодовым изменением количества осадков и температуры воздуха. Изменение источников питания будет определять основные типы водного режима рек. Основная часть стока рек данной территории формируется в период весеннего половодья, которое является главной причиной неравномерности стока на протяжении года, потому характер весеннего половодья в значительной степени определяет внутригодовое распределение стока [8]. Считается, что по характеру водного режима реки Украинского Полесья относятся к равнинному типу, преимущественно снежному питанию. Наибольшие среднемесячные расходы наблюдаются в марте-апреле, наименьшие – в конце лета или в начале осени.

При определении количества воды, которое можно отобрать из реки для разнообразных водохозяйственных потребностей, не вдаваясь в регулирование стока, при выполнении гидрологических расчетов необходимо оценить данные о внутригодовом распределении стока рек. Обобщение внутригодового распределения стока было осуществлено с помощью районирования территории Украины по типам внутригодового распределения стока на основе 99 постов длительностью наблюдений больше 25 лет на начало 80-х годов XX века (рис. 7.3) [1, 2, 9].

В соответствии с физико-географическим районированием территория Украинского Полесья включает районы I, II, III, IV по типичной схеме распределения годового стока рек по сезонам и месяцам в характерные по водности годы (многоводный, средний, маловодный и очень маловодный).

В целом, с уменьшением водности года растет часть стока весеннего сезона и уменьшается часть стока, которая приходится на лимитирующие сезоны (лето-осень и зиму). Для бассейна Припяти особенностью режима рек является значительный процент осенне-зимнего стока в многоводные (42,4 и 38,3 % от годового) и в средние по водности годы (29,7 и 37,4 % от годового) [3]. Это объясняется выпадением интенсивных дождей или интенсивными оттепелями с выпадением дождей и таянием снежного покрова, что приводит к дождевым или снежно-дождевым паводкам. Необходимо отметить, что режим стока в меженный период может быть нулевым, особенно на водосборах малых рек, когда реки переходят на подземное питание. Современные исследования [3] показывают, что в верховьях Припяти доля подземного питания превышает 40 %, уменьшаясь вниз по течению к 28,5 %, и в целом составляет 35 %. В частности, для постов Речица и Любязь в средние по водности годы процент подземного питания составляет соответственно 36,8 и 13,5 %.

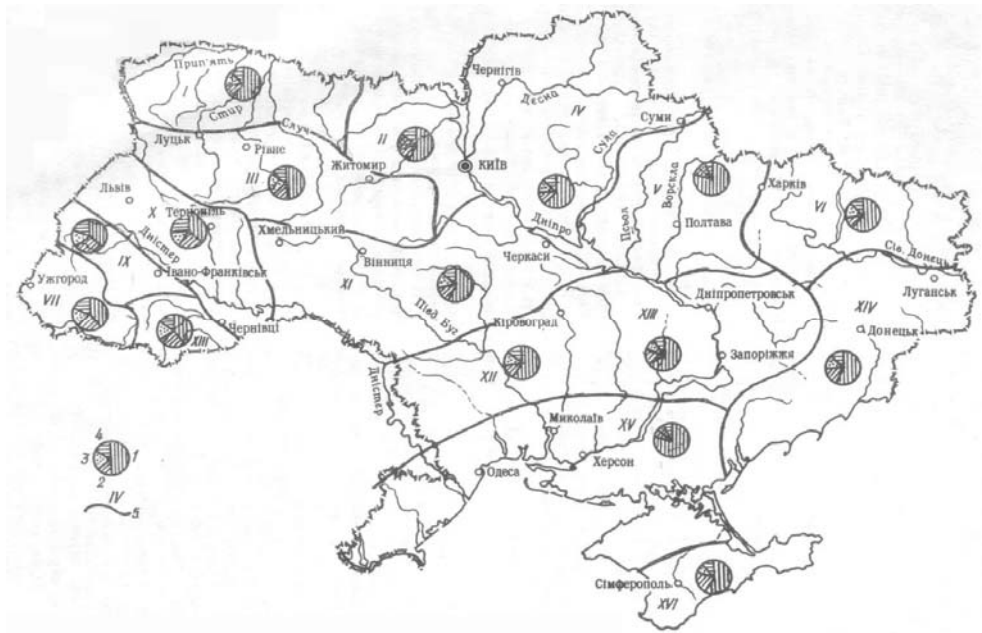


Рис. 7.3. Районирование территории Украины по внутригодовому распределению стока: 1 – весна; 2 – лето; 3 – осень; 4 – зима; 5 – номера и границы районов

Также для территории Украинского Полесья можно применять районирование внутригодового распределения стока для средних многолетних условий, которое представлено в Национальном атласе Украины на (рис. 7.4) [4]. Территории Украинского Полесья также охватывают четыре района: *Западнополесский* – низовья Стыра и Горыни, верховья Припяти, Выжевки, Турьи, Западного Буга; *Центральнополесский* – низовье Случа, Уборти, Ужа, Тетерева, Ирши; *Деснянско-Сульський* – притоки Десны; *Подольско-Приднепровский* – верховья Стыра, Случа, Горыни. При сравнении с районированием (рис. 7.3) границы этих районов отличаются. При этом часть распределения стока в средний по водности год за двумя районированиями фактически совпадает.

Также характеристика внутригодового распределения стока по материалам наблюдений 1950–1988 гг. была представлена в исследованиях современного водного режима рек Украины, которое проведено В. В. Гребинем [8].

Режим внутригодового распределения стока рек бассейнов правых притоков Припяти, Тетерева, Ирпня (правобережная часть Украинского Полесья) характеризуется прохождением весеннего стока с марта по май. В этот сезон на реках проходит 38–50 % годового стока. До июня сток этих рек существенно снижается. Часть из них, которая лишена подземного питания, может пересыхать или ее расходы уменьшаются до нескольких десятых м³/с.

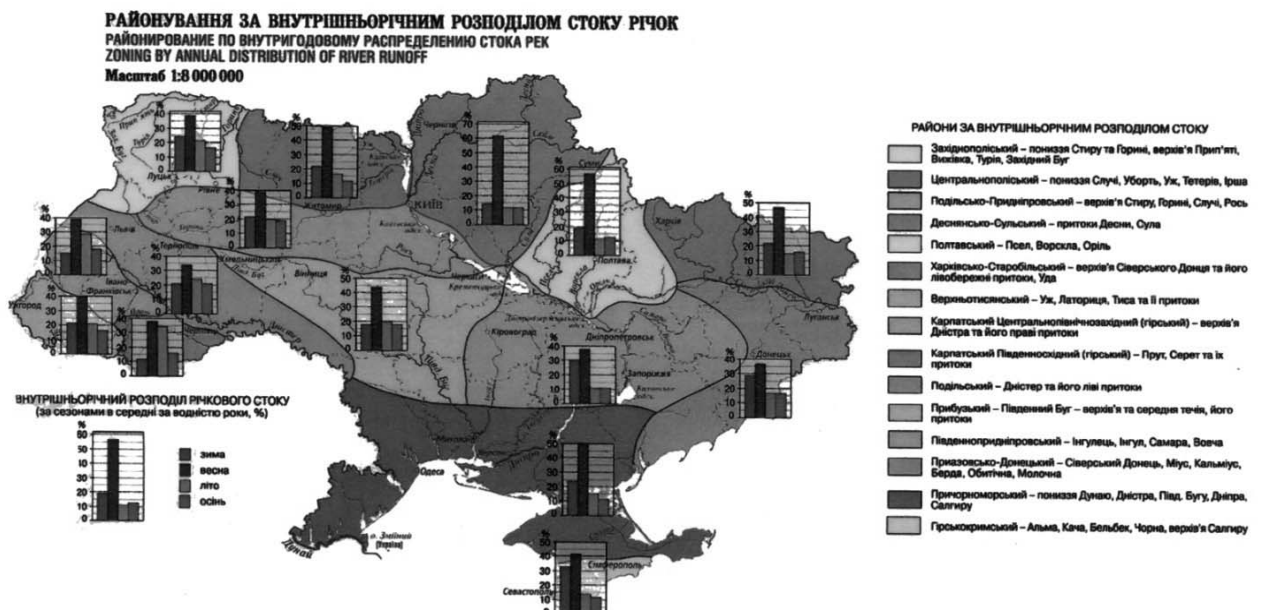


Рис. 7.4. Внутригодовое распределение стока рек Украины

Летняя межень является сезоном низких расходов воды, она продолжается с июня по август, который считается месяцем с наименьшей частью годового стока. Летний сток составляет от 16 до 21 %. В осенний период с сентября по ноябрь сток рек постепенно растет за счет значительных осенних осадков и составляет 14–18 % от годового стока. Сток зимнего сезона за декабрь – февраль составляет 20–23 % от годового, такой рост расходов воды в этот сезон обусловлен влиянием оттепелей. Для отмеченных территорий лимитирующим периодом служит летне-осенне-зимняя межень (с июня текущего года по февраль следующего). Лимитирующим сезоном считают лето, так как в этот период забор воды из рек превышает заборы в другие периоды года. По характеру режима стока в качестве лимитирующего сезона также может быть принята осень (с сентября по ноябрь включительно), а в качестве лимитирующего месяца – сентябрь.

Режим стока рек бассейна Десны (левобережная часть Украинского Полесья) в общих чертах является аналогичным выше отмеченным и характеризуется прохождением четко выраженного весеннего половодья и низкими меженными и расходами воды в другую часть года. На этой территории есть отличие: наибольшая часть весеннего стока приходится на апрель, в то время как на других территориях – на март. Для этой территории также характерны существенно меньшие расходы зимнего сезона, что объясняется меньшей частотой оттепелей. В весенний гидрологический сезон проходит 57 %, в летний – 13 %, в осенний – 14 %, в зимний – 16 % от объема годового стока. Лимитирующим периодом здесь также является летне-осенне-зимняя межень, лимитирующим сезоном – лето с июня по август включительно, а лимитирующим месяцем – август. Внутригодовое распределение стока по фазам водного режима также отличается на правобережной и левобережной территории Украинского Полесья. Для Припятской и Бугско-Днестровской ЛГП за весеннее половодье проходит 31–42 % объема годового стока, за летне-осеннюю межень – 37–46 %, за зимнюю межень – 21–23 %. В то же время для Деснянской ЛГП отмеченное распределение составляет 53, 31 и 16 %.

7.3. Максимальный сток весеннего половодья

Весеннее половодье на реках Украинского Полесья является наиболее характерной фазой водного режима. На формирование весеннего стока влияют две основных группы факторов: первая – *метеорологические*, которые определяют интенсивность снеготаяния и образования талых вод, а также потери воды на испарение, вторая – факторы *подстилающей поверхности*, которые определяют величину аккумуляции талых вод на поверхности бассейна и инфильтрации в почву, характер распределения снега по поверхности водосбора и стекание талых вод на склонах и в руслах рек. По условиям формирования стока весеннего половодья на правобережье Украинского Полесья можно выделить две части: западную и восточную, граница между которыми проходит по водоразделу рек Горынь и Случь. Они отличаются между собой по геологическому строению и условиям гидрогеологии питания. В западной части распространены карстовые породы мелового возраста, а также имеющиеся отрицательные формы рельефа и песчаные отложения. Они ухудшают поверхностное стекание, способствуют фильтрации талых вод, повышают долю подземного питания рек. В восточной части распространены четвертичные песчано-глинистые отложения на коренных породах Украинского кристаллического щита. Такие условия являются более благоприятными для поверхностного стока. Основная область питания левобережной части Украинского Полесья (бассейн Десны) расположена в лесной зоне, где наблюдаются достаточно суровые и многоснежные зимы. В питании реки основную роль играют талые воды. Их количество зависит от осенне-зимней увлажненности почвы, от величины снеготаяния в бассейне, характера снеготаяния.

Для рек правобережной части Украинского Полесья наиболее раннее весеннее половодье может быть в начале февраля, а самое позднее – в первых числах апреля. В среднем для данной территории весеннее половодье начинается на юго-западе (в первых числах марта) и, несколько позже, на северо-востоке (середина марта). Между сроками начала половодья, его интенсивностью и длительностью существует связь. В поздние весны при интенсивном снеготаянии формируется наиболее высокое и непродолжительное половодье с наибольшими максимумами. При раннем его начале происходит медленное таяние снега, увеличиваются потери талых вод на фильтрацию. В этом случае весеннее половодье низкое и длительное. В бассейне Десны половодья обычно раньше начинаются на притоках, расположенных в нижней части бассейна. По мере продвижения фронта снеготаяния на север оно охватывает весь бассейн. В годы исключительно высоких половодий снеготаяние почти одновременно охватывает весь бассейн Десны. На малых и средних реках верхнего и среднего течения р. Десны, включая бассейн р. Сейм, средние даты начала половодья приходятся на 20–25 марта [8, 10].

Длительность половодья зависит от длины реки, заболоченности, лесистости, закарстованности водосборов. Для малых рек с закарстованными водосборами средняя длительность половодья

составляет 40–45 суток, а для больших рек до 80 суток. Для незакарстованных водосборов длительность меньше и составляет соответственно 35–55 суток. В отдельные годы, с затяжным снеготаянием, в результате частых похолоданий длительность половодья независимо от карста может длиться 60–70 суток на малых реках и до 120 суток – на больших. На этой территории часто на фоне прохождения весеннего половодья, в результате оттепелей могут возникать зимние паводки. Половодье на реках Деснянской гидрологической области проходит обычно одним пиком. Иногда оно имеет два пика из-за возвращения холодов. Общая его длительность в среднем составляет 2–3 месяца. В бассейне Десны средняя длительность половодья составляет 55–65 суток, в годы высоких и интенсивных половодий его длительность составляет 40–45 суток, во время прерывистого снеготаяния – 80–100 суток.

Для правобережной части Украинского Полесья помесячное распределение сроков прохождения весеннего половодья отличается от левобережной части. Для Припятской и Бугско-Днестровской ЛГП наибольшая повторяемость прохождения максимумов приходится на март, соответственно 57 и 53 %. В апреле она составляет 34 и 26 %, а в феврале – 9 и 21 %. Для Деснянской ЛГП наибольшая повторяемость прохождения максимумов приходилась на апрель 52 %, затем на март – 32 % и февраль – 9 % [8, 10]. Наивысшие уровни весеннего половодья, как правило, являются максимальными в году. Средняя его высота относительно минимального летнего уровня составляет для правобережной части Припяти – 1,0–2,5 м. На малых реках состояние воды на заводи может продолжаться в среднем 25–30 дней, на средних и больших – около 1,5–2,0 месяца.

Максимальные уровни, которые наблюдаются во время прохождения весеннего половодья на реках бассейна Десны, приведены в таблице 7.3 [10].

Таблица 7.3

Характерные уровни воды для рек бассейна р. Десна за многолетними наблюдениями

Название реки, гидрологического поста	Средний уровень за время наблюдений, см	Максимальный уровень		Диапазон изменения уровней в период открытого русла, см
		см	дата	
Десна – г. Чернигов	330	985	18.04.1917	891
Убедь – с. Кудровка	93	355	05.04.1970	339
Сейм – с. Мутино	503	855	25.04.1942	531
Снов – г. Щорс	126	400	21.03.1934	429
Билоус – с. Кошевка	211	452	31.03.2006	281

Средняя высота весеннего половодья относительно минимального летнего уровня составляет для р. Десна – 3–8 м (в средней и нижней части), а по притокам от 2 до 3 м.

Основными характеристиками весеннего половодья являются: максимальный расход, модуль стока, слой стока, коэффициенты вариации и асимметрии, характер гидрографа. Обобщение данных об отмеченных выше характеристиках приведены в литературе [1, 2]. Здесь за период от начала наблюдений до середины 80-х годов XX века указаны наибольшие расходы воды и их даты, наибольшие слои стока и их даты за период наблюдений, параметры кривых обеспеченности расходов и слоев стока весеннего половодья. Более детальная оценка количественных характеристик половодья для бассейна Припяти за период от начала наблюдений до середины 90-х годов XX века для 46 гидрологических постов была проведена в НУВГП на кафедре гидрологии и гидрогеологии [11] (табл. 7.4). Было выявлено, что период 1981–1994 гг. является маловодным относительно максимального стока весеннего половодья.

Кроме того, детальная оценка количественных характеристик водополья для бассейна Припяти за период от начала наблюдений к началу 2000-х годов XXI века для 21 гидрологического поста была проведена в рамках проекта ТАСИС [3] (табл. 7.5).

Анализируя данные таблиц 7.4 и 7.5, можно отметить, что коэффициенты вариации (C_v) максимальных расходов воды изменяются от 0,49 (р. Случь – с. Громада) до 1,17 (р. Ирпень – с. Мостыще). Соотношения между коэффициентами асимметрии и вариации указанных расходов колеблются в пределах от 1,0 (рр. Стырь, Вырка, Уборть) до 4,8 (р. Турья – с. Бузаки). В целом, соотношения C_s/C_v имеют увеличенные значения для рек, которые протекают в пределах Вольно-Подольской возвышенности. Наименьшие соотношения C_s/C_v характерны для малых рек (1,0–1,5) [3, 11].

Оценка количественных характеристик водополья для бассейна Десны за период от начала наблюдений до 2007 г. приведена в литературе [12] (табл. 7.6). Половодье в 1917 г. оказалось наибольшим за весь период наблюдений. Максимальный расход воды около г. Чернигова достиг 8090 м³/с, что в 4,4 раза больше среднего многолетнего максимального расхода воды. Аналитическая обеспеченность такого расхода оценивается как 0,9 %, то есть половодье в 1917 г. относится к катастрофическим.

Максимальные расходы и суммарные слои стока весеннего водополя, рассчитанные по данным наблюдений

Река, гидрологический пост	Параметры кривой обеспеченности максимальных расходов			$Q_{1\%}$ м ³ /с	Параметры кривой обеспеченности суммарных слоев стока		
	$Q_{ср}$, м ³ /с	C_v	C_s/C_v		$h_{ср}$, мм	C_v	C_s/C_v
Припять – с. Речица	60,2	0,96	2,4	272	40,0	0,80	1,80
Припять – с. Любязь	97,2	0,85	1,8	362	32,2	0,69	1,80
Выжевка – с. Руда	6,72	0,83	2,1	26,1	50,8	0,58	1,40
Выжевка – с. Старая Выжевка	39,9	0,86	1,89	162,0	45,7	0,63	2,00
Турья – с. Ягодное	16,3	0,90	2,3	69,1	34,5	0,68	2,50
Турья – г. Ковель	42,9	1,03	2,4	211,0	40,0	0,62	2,00
Турья – с. Бузаки	71,2	0,82	4,8	289,0	47,6	0,70	2,80
Стоход – с. Малиновка	18,8	0,85	2,7	78,4	31,1	0,60	1,50
Стоход – с. Гулевка	47,2	0,97	2,2	214,0	52,3	0,98	3,00
Стоход – с. Любешов	73,6	0,68	2,5	246,0	50,2	0,70	2,00
Стоход – с. Щуровцы	47,8	0,80	2,6	187,0	37,8	0,55	2,00
Стырь – г. Луцк	147,0	0,94	2,8	604,0	42,9	0,55	2,00
Стырь – с. Млынок	157,0	0,63	2,79	504,0	36,4	0,59	2,00
Родоствка – с. Тройца	15,2	0,82	2,3	59,4	48,1	0,54	2,00
Иква – с. Радянское	21,7	0,82	2,8	88,1	33,8	0,57	3,50
Иква – Млиновская ГЭС	45,8	0,57	2,7	134,0	36,9	0,54	2,00
Горынь – пгт. Ямполь	60,0	1,00	2,5	287,0	39,4	0,54	2,70
Горынь – с. Оженин	187,0	0,82	2,8	763,0	39,3	0,50	1,50
Горынь – с. Деражное	210,0	0,76	2,8	792,0	44,5	0,52	2,50
Вырка – с. Сварыни	9,2	0,78	2,4	34,6	48,8	0,67	2,70
Бережаны – с. Подлесное	13,8	0,63	1,1	38,4	55,1	0,59	1,80
Случь – с. В. Клитна	15,0	0,89	2,7	65,4	52,5	0,61	1,50
Случь – с. Громада	91,0	0,79	2,4	346,0	37,5	0,64	2,30
Случь – г. Н. Волынский	243,0	0,94	2,4	1094,0	32,8	0,80	3,00
Случь – г. Сарны	712,0	1,00	2,3	3368,0	50,2	0,67	2,50
Хомора – с. Понинка	66,1	0,76	2,3	241,0	45,5	0,52	2,50
Тня – с. Броники	74,4	0,90	1,8	302,0	47,9	0,73	2,00
Смолка – с. Суслы	40,3	0,77	2,1	146,0	43,7	0,74	1,50
Льва – с. Осницк	17,8	0,72	2,0	60,0	62,8	0,70	1,50
Уборть – с. Рудня Ивановская	36,4	0,95	2,3	164,0	52,3	0,69	1,50
Уборть – с. Перга	112,0	0,74	2,0	398,0	56,7	0,71	2,00
Уж – г. Коростень	81,0	0,90	2,1	340,0	39,4	0,74	2,60
Уж – с. Полесское	315,0	0,82	1,8	1172,0	49,2	0,66	2,30
Жерев – с. Вязовка	78,7	0,82	1,8	283,0	51,5	0,79	2,00
Норин – с. Словенщина	41,4	0,67	1,1	120,0	53,2	0,65	2,00
Грезля – с. Брид	33,5	0,68	2,4	111,0	58,7	0,64	2,30
Илья – с. Лубянка	15,3	0,77	2,5	57,2	51,2	0,74	2,20
Тетерев – с. Троща	15,6	0,72	2,0	52,6	39,8	0,46	2,50
Тетерев – г. Житомир	258,0	0,77	2,0	924,0	41,8	0,69	2,50
Тетерев – с. Макалевичи	343,0	0,80	2,0	1272,0	46,2	0,80	2,50
Гнилопять – с. Головинка	60,7	0,90	2,5	262,0	43,0	0,59	2,50
Гуйва – с. Городкивка	19,4	1,09	2,2	99,3	36,9	0,58	3,50
Ирша – с. В. Волынк	26,6	0,90	1,7	106,0	56,2	0,74	2,00
Ирша – с. Украинка	200,0	0,86	1,8	802,0	47,4	0,76	2,00
Здвиж – с. Гавронщина	54,0	0,92	2,0	229,0	33,0	0,86	2,50
Ирпень – с. Мостыще	100,0	1,17	2,2	552,0	33,0	0,74	2,50

Основными условиями формирования катастрофического половодья в бассейне реки Десна являются: выпадение большого количества осадков в зимний период; суровые и длительные зимы, которые способствуют накоплению зимних осадков в бассейне; накопление значительных запасов снежной влаги; значительное промерзание почв, которое способствует быстрому стеканию воды по склонам водосбора; интенсивные процессы таяния одновременно по всему бассейну реки [13].

Таблица 7.5

**Характеристики максимального и среднего стока весеннего водополья
рек бассейна Припяти**

Название реки, гидрологического поста	Максимальные за половодье		Средние за водополье			
	расход воды, м ³ /с	модуль стока, л/(с·км ²)	расход воды, м ³ /с	модуль стока, л/(с·км ²)	коэффициент вариации, C _v	C _s /C _v
<i>Бассейн Припяти (правобережные притоки)</i>						
Припять – с. Речица	261	118	52,0	23,5	1,10	2,0
Припять – с. Любязь	331	54,3	103	16,9	0,88	1,5
Выжевка – с. Руда	25,1	178	6,5	46,1	0,96	2,5
Выжевка – с. Ст. Выжевка	163	226	39,0	54,0	0,96	1,5
Турья – с. Ягодное	67,4	134	16,4	32,7	0,87	1,5
Турья – г. Ковель	251	170	42,7	28,9	1,02	2,5
Стоход – с. Любешов	227	76,4	73,0	24,6	0,77	1,5
Стоход – с. Малиновка	64,0	92,5	19,0	27,5	0,91	1,5
Стырь – с. Млынок	377	34,6	156	14,31	0,61	1,0
Горынь – пгт. Ямполь	384	274	58,0	41,4	1,03	3,5
Горынь – с. Оженин	766	130	170	29,0	0,89	3,0
Горынь – с. Деражное	716	78,2	217	23,7	0,83	1,5
Вyrка – с. Сварыни	30,2	131	10,0	43,3	0,85	1,0
Случь – с. Громада	327	132	91,4	36,9	0,49	1,5
Случь – г. Сарны	2910	219	684	51,4	1,03	1,5
Тня – с. Броники	357	364	76,6	78,0	0,88	1,5
Смолка – с. Суслы	129	204	40,1	63,4	0,79	1,5
Льва – с. Осницк	66,5	241	18,6	67,4	0,70	1,0
Уборть – с. Рудня Ивановская	144	186	36,9	72,3	0,98	1,5
Уборть – с. Перга	322	112	112	38,9	0,72	1,0
Уж – г. Коростень	283	195	91,0	62,8	0,86	1,5

Таблица 7.6

Многолетние характеристики максимального стока весеннего половодья на реках бассейна Десны

Название реки, гидрологического поста	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений	Макс. расход воды, средний за период, Q _{max} , м ³ /с	Макс. расход воды, Q _{max} , м ³ /с	Дата	C _v	C _s	C _s /C _v
Десна – г. Чернигов	81400	1884-2007	1856	8090	18.04.1917	0,85	2,2	2,6
		I*	1560	8000	20.04.1970	0,86	3,4	3,9
		II**	942	2040	26.04.1994	0,34	2,0	5,9
Убедь – с. Кудровка	970	1957-2007	49,9	166	05.04.1970	0,78	0,91	1,17
		I	66,2	166	05.04.1970	0,60	0,38	0,63
		II	22,3	78,4	28.03.1994	0,66	2,8	4,2
Сейм – с. Мутино	25600	1926-2007	851	3580	25.04.1942	0,89	1,56	1,75
		I	799	3380	14.04.1970	0,80	2,0	2,5
		II	241	845	18.04.1994	0,68	2,6	3,8
Клевень – с. Шарповка	2440	1956-2007	81,5	360	06.04.1970	0,82	1,82	1,49
		I	104	360	06.04.1970	0,72	1,32	1,8
		II	40,8	76,5	31.03.1994	0,42	0,95	2,3
Снов – г. Щорс	7140	1956-2007	251	764	10.04.1958	0,77	0,78	1,01
		I	316	764	10.04.1958	0,64	0,23	0,36
		II	125	220	28.03.2004	0,55	1,25	2,3

Примечание: * – период наблюдения 1957–1988 гг., ** – период наблюдения 1989–2007 гг.

За последние 20 лет наиболее мощное половодье отмечено в 1994 г. на гидрологическом посту на р. Десна – г. Чернигов, оно составило 2040 м³/с (аналитическая обеспеченность 30 %). Анализируя таблицу 7.6, можно сделать вывод о том, что коэффициенты вариации максимальных расходов весеннего половодья в бассейне Десны изменяются в пределах от 0,77 до 0,85, что существенно больше, чем значение C_v в правобережной части Полесья. Соотношения между коэффициентами асимметрии и вариации указанных расходов колеблются в пределах от 1,01 (р. Снов – г. Щорс) до 2,6 (р. Десна – г. Чернигов). В целом, соотношение C_s/C_v имеет меньшие значения для рек левобережной части

Полесья в сравнении с правобережной частью Полесья. Кроме того, анализируя таблицу 7.6, видим, что для рек бассейна Десны в пределах Украины в большинстве случаев характерны высокие половодья в поздние сроки в сравнении со средними многолетними и низкие половодья, которые проходят с опережением соответствующих средних дат. Обобщенные данные наблюдений до 80-х годов XX века представлены в виде среднего многолетнего слоя стока половодья (рис. 7.5) [1, 2].

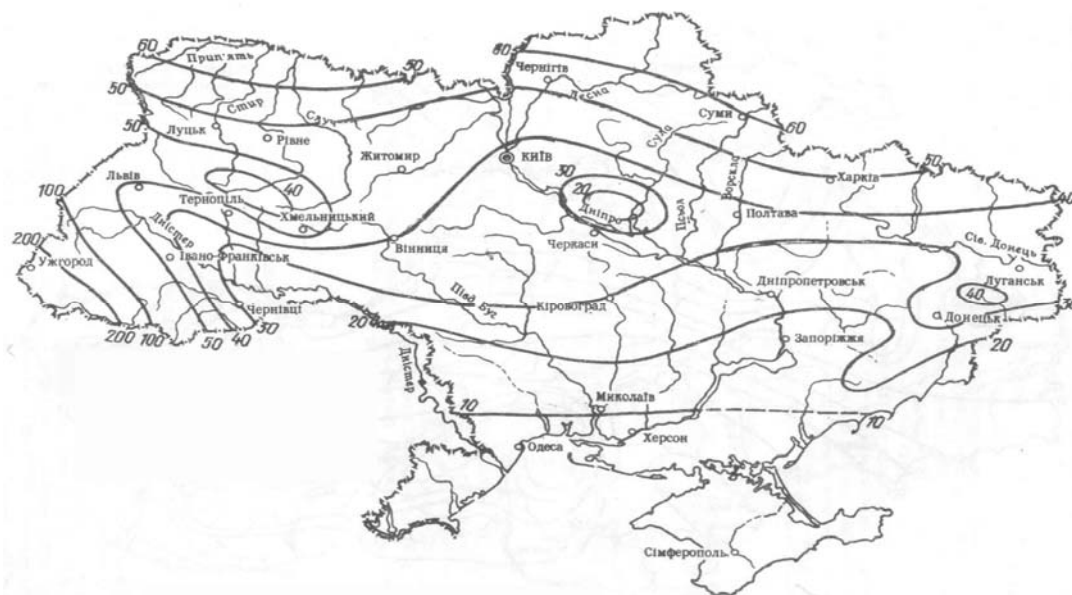


Рис. 7.5. Средний слой стока водополя территории Украины, мм

На территории Украинского Полесья средний слой стока за половодье изменяется в пределах от свыше 60 мм до 40 мм. Четко прослеживается широтное уменьшение из севера на юг данной характеристики весеннего половодья. Исключением являются юго-западная часть правобережья Украинского Полесья, где оказывается центр снижения слоя стока половодья (менее 40 мм) в верховье Стыра и Горыны. В других литературных источниках [8] средние многолетние величины слоя стока весеннего половодья, которые получены за период наблюдений 1951–1988 гг. на правобережье Припяти колеблются от 40 до 80 мм при общем росте с юго-запада на северо-восток; в верховьях р. Десны они составляют 100–120 мм; в бассейне Сейма – 70–80 мм; на заболоченных реках (Остер, Трубеж, Супой, Тясмин) – 20–30 мм.

По данным наблюдений [1] к началу XXI века построена карта среднего многолетнего слоя стока весеннего половодья на (рис. 7.6).

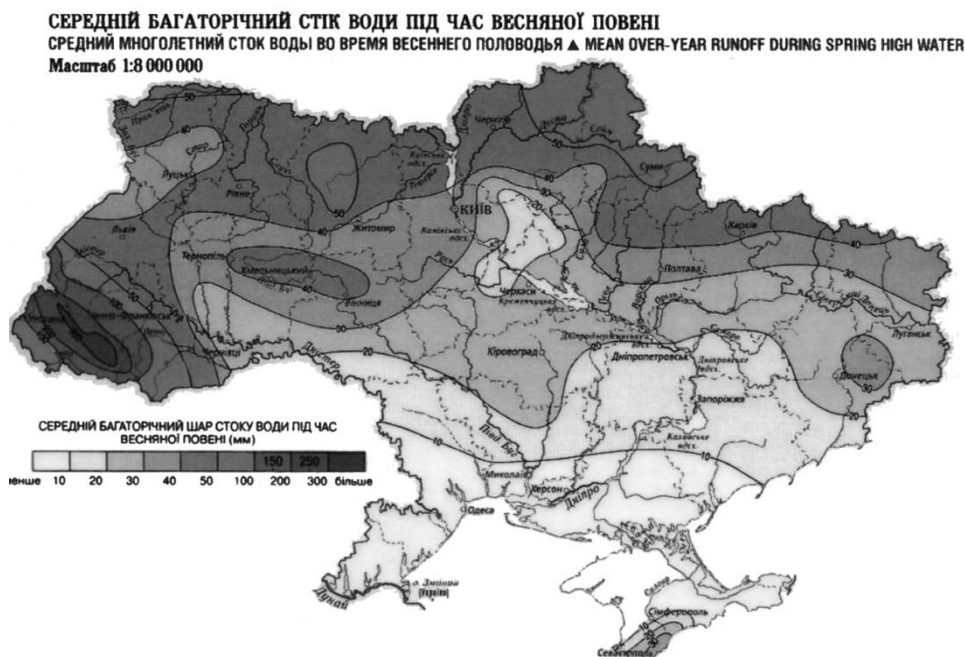


Рис. 7.6. Средний многолетний слой стока во время весеннего половодья на территории Украины

Карта отображает количественное уменьшение стока весеннего половодья на всей территории Украинского Полесья, которое наблюдается с 80-х годов XX века. Фактически отсутствуют изолинии слоя стока в 60 мм. При сохранении широтного изменения слоя стока на территории правобережной части Полесья появились отдельные центры со сниженными значениями стока (менее 40 мм), охватывающие западную и южную части этой территории. По данным наблюдений в середине 80-х годов XX века для опорных пунктов с рядами наблюдений 30–40 лет построена карта коэффициентов вариации слоя стока весеннего половодья (рис. 7.7) [1, 2].

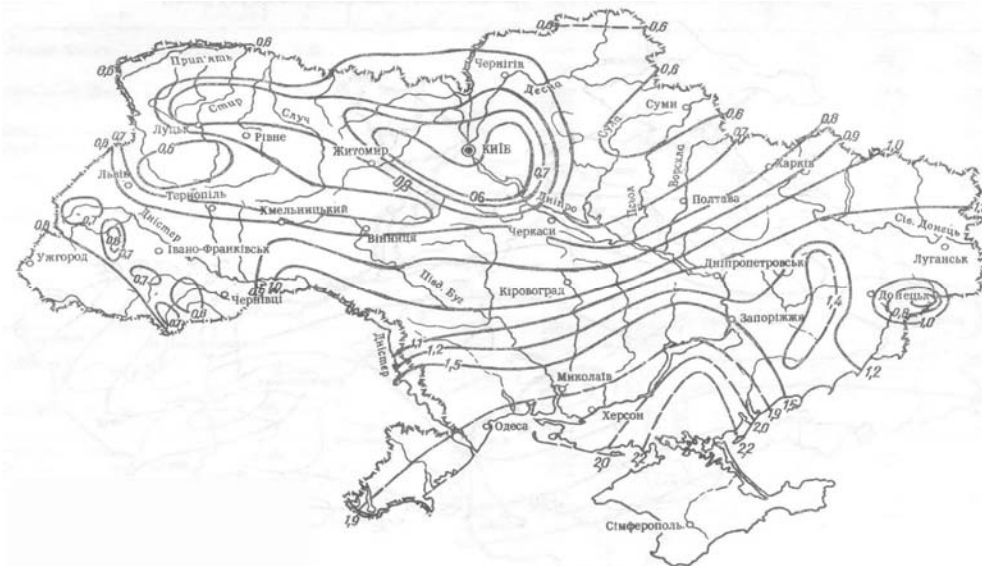


Рис. 7.7. Коэффициенты вариации слоя стока весеннего половодья на территории Украины

На рисунке 7.7 видно, что территориальное распределение коэффициента вариации Украинского Полесья является центрами замкнутых изолиний. Большую часть Украинского Полесья (первый центр) оконтуривает изолиния $C_v = 0,8$. Здесь коэффициент вариации изменяется до 0,6 и меньше. Второй центр находится в юго-западной части Полесья, охватывая территорию из $C_v = 0,6$ и меньше. Более детальные данные для правобережных притоков Припяти о величине коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья даны в таблице 7.5. Коэффициент вариации изменяется для этой территории от 0,46 до 0,98. В целом, его значения растут с запада, северо-запада на восток, юго-восток.

По данным наблюдений [4] к началу XXI века была построена карта среднего многолетнего модуля стока весеннего половодья (рис. 7.8).

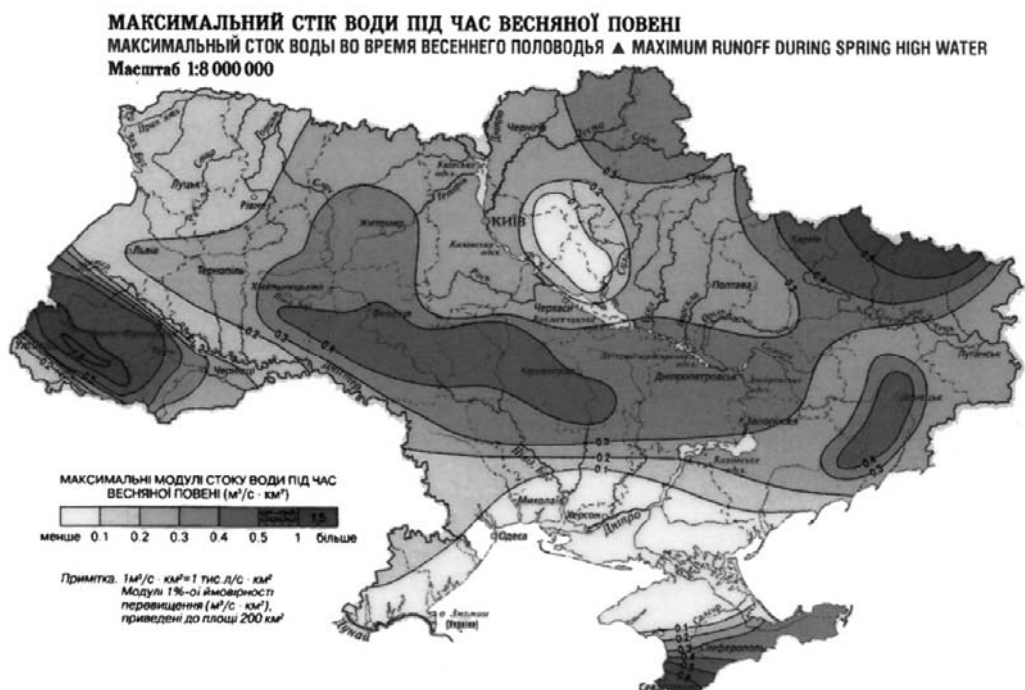


Рис. 7.8. Максимальный сток воды во время весеннего половодья на территории Украины

На рисунке 7.8 видно, что максимальные модули стока воды во время весеннего половодья на реках Полесской гидрологической области изменяются в пределах от 0,2 до 0,35 м³/(с·км²), а в Деснянской гидрологической области – от 0,2 до свыше 0,3 м³/(с·км²). В двух областях есть территориальное распределение рассмотренного модуля стока, и он приближается к меридианальному. В целом, модули растут с запада на восток и северо-восток. На юго-востоке правобережной части Полесья наблюдается центр повышенных модулей стока (свыше 0,3 м³/(с·км²)).

7.4. Максимальный сток дождевого паводка

Формирование дождевых паводков отличается от формирования весенних половодий как по генезису, так и по физическим условиям. При этом выявление большинства факторов подстилающей поверхности будет таким же, что и при формировании половодья, но механизм их влияния на процессы стекания и инфильтрации несколько иной, хотя влияние факторов аккумулярующей группы (озера, болота, водохранилища) является аналогичным.

Из метеорологических факторов главными являются дожди: их характер и интенсивность. Наибольшее значение имеют площадь распространения и общий ход дождей, их длительность, суммарный слой осадков, их средняя и максимальная интенсивность, повторяемость значительных дождей. Факторы подстилающей поверхности определяют инфильтрацию (потери осадков, которые выпали) и скорость добегания воды по склонам и русловой сети (время формирования паводков).

Основным из метеорологических факторов является выпадение очень сильных дождей, когда количество осадков составляет 30 мм и больше периода 12 часов и меньше. Чаще всего такие дожди выпадают во время перемещения южных и юго-западных циклонов из Черного моря и Среднедунайской низменности. В связи с тем, что сильные дожди выпадают, в основном, над горными регионами Украины их количество на этой территории будет незначительным (над равнинной частью Украины фиксируется 13–15 случаев сильного дождя). Дождевые осадки ливневого характера обычно выпадают в июле-августе.

В пределах территории Украинского Полесья наиболее благоприятные условия для формирования дождевых паводков отмечаются в верховьях правых притоков Припяти в результате сочетания климатических и орографических условий. Наиболее паводкоопасным районом является территория бассейна в среднем и нижнем течении р. Припять. Это обусловлено резким увеличением бокового притока [3]. На этом участке в нее впадают такие большие притоки, как Горынь, Случь, Уборть, Птичь. Эффективные осадки, которые образуют поверхностный сток, выпадают на данной территории 15–20 раз в год. Лишь на малых водотоках (при площадях водосбора до 50–150 км²) максимальные расходы дождевых паводков превышают расходы от талых вод. Для рек бассейна Припяти дождевые расходы могут превышать снежные (при площадях водосбора до 1000–1500 км²).

Одна из характеристик паводкового стока – сроки прохождения дождевых максимумов. За период до 1989 г. сезонное распределение этих максимумов для ландшафтно-гидрологических провинций Полесья составляет: Припятская ЛГП – весна – 36 %, лето – 46 %, осень – 18 %; Бугско-Днестровская ЛГП соответственно 30, 50, 20 %; Деснянская ЛГП соответственно 19, 49, 32 % [8]. Таким образом, на территории Украинского Полесья наиболее часто дождевые максимумы наблюдаются в летний сезон, при этом вероятность появления этих максимумов весной на левобережной части Полесья меньше, чем на правобережной.

Даже локальные паводки значительной интенсивности на левобережных и правобережных притоках могут вызвать значительные подъемы уровня воды на реках. Так, высота паводков в среднем и нижнем течении Припяти достигает 2,0–3,5 м [3].

Многолетние характеристики максимальных расходов дождевых паводков на реках Украинского Полесья от начала наблюдений до середины 80-х годов XX века представлены в литературе [1, 2, 3]. В ней приведены максимальные за период наблюдений расходы дождевых паводков и годы их наступления, слои стока, которые отвечают максимальным расходам и годы их наступления, средне-многолетние расходы и слои стока дождевых паводков, коэффициенты вариации максимальных расходов и слоев стока дождевых паводков, коэффициенты асимметрии максимальных расходов и слоев стока дождевых паводков с вероятностью превышения 1 %. Так, в бассейнах правобережных притоков Припяти максимальные дождевые расходы могут превышать снежные с площадью водосборов до 1500–2000 км² (максимум р. Припять – с. Речица – 2210 км²). Максимальные модули дождевого стока достигают 364 л/(с·км²) (р. Тня – с. Броники), так как река принадлежит к территории выхода пород Украинского кристаллического щита. Коэффициенты стока дождевых паводков в бассейне Припяти составляют 0,50–0,52. Коэффициенты вариации максимальных расходов дождевых паводков достаточно большие и достигают 2,90 (р. Уборть – с. Рудня Ивановская) [3].

Для определения параметров таких характеристик паводкового стока, как максимальные расходы дождевого стока и его объемов для рек, которые не освещены данными наблюдениями, по существующим нормативным требованиям, которые действуют в Украине [14], необходимо знать максимальный суточный слой осадков 1%-ной обеспеченности (для формул предельной интенсивности стока), максимальный модуль дождевого стока 1 % обеспеченности для площадей водосбора 200 км² (для редуцированных формул), слой дождевого стока 1 % обеспеченности (для расчета объема дождевого паводка). Отмеченные характеристики были оценены за период наблюдений до середины 80-х годов XX века в виде соответствующих карт [1, 2]. Карта максимального суточного слоя осадков 1%-ной обеспеченности (рис. 7.9) показывает, что данная характеристика территориально изменяется и составляет для правобережной части Полесья от 120 мм к свыше 160 мм.

Для левобережной части Украинского Полесья она изменяется от уровня свыше 120 мм до менее чем 100 мм. Фактически на отмеченной территории эта величина не имеет никакого широтного или меридианального распределения. Здесь можно выделить три центра: первый – ограничен изолинией в 120 мм, которая проходит от предела границы с Польшей к низовью рек Уж и Тетерев через южную часть правобережья Украинского Полесья, в этом центре максимальные суточные слои осадков увеличиваются к центру и достигают 160 мм и больше в нижнем течении Стыра, Горыни и Случа. Второй центр ограничен изолинией в 120 мм, он включает в себя низовье рек Уж, Тетерев и Десна. Здесь отмеченные слои могут увеличиваться от 120 мм до 140 мм. Третий центр ограничен изолинией в 100 мм и охватывает верхнюю часть Десны на территории Украинского Полесья. Здесь максимальные суточные слои осадков уменьшаются от 100 мм.

При определении максимальных расходов дождевых паводков для водосборов с площадью свыше 200 км² применяют редуцированную формулу, составляющим элементом которой служит максимальный модуль стока 1%-ной обеспеченности.

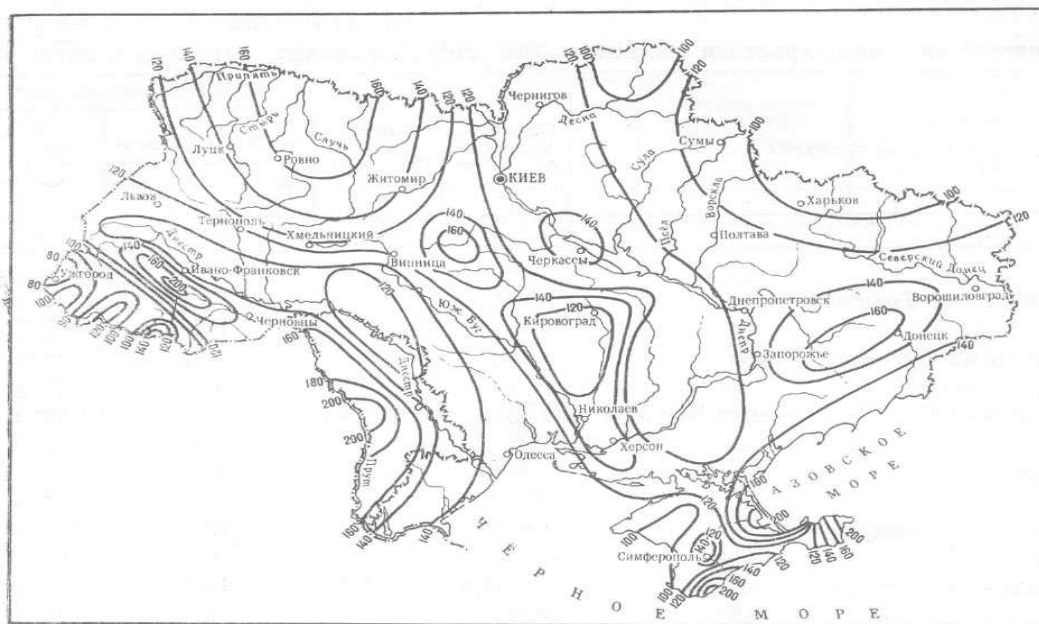


Рис. 7.9. Максимальный суточный слой осадков 1%-ной обеспеченности

На сегодня разработаны две карты этого показателя, одна – по наблюдениям до середины 80-х годов XX века (рис. 7.10) [1, 2], вторая – построена по данным наблюдений к началу XXI века (рис. 7.11) [4].

Анализ рисунка 7.10 показывает, что территория Украинского Полесья разделена на две части изолинией максимального модуля $q_{200} = 0,4 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, которая почти проходит по правому берегу Днепра. Правобережная часть Украинского Полесья включает три центра. Юго-западная часть этой территории ограничена изолинией $0,4 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ и увеличением модуля свыше $0,5 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. Изолиния $0,6 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ограничивает нижнюю часть Горыни, Случа, Стыра с изменением отмеченного модуля от $0,4 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ и меньше. Среднее течение Горыни, Случа, верховье Уборти, Ужа и Тетерева формируют центр, который ограничен изолинией $q_{200} = 0,8 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. В этом центре модули изменяются к середине до $1,5 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. Левобережная часть Украинского Полесья расположена в центре, который ограничен изолинией $0,2 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. В нем происходят изменения модулей до $0,1 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ и меньше по направлению к месту слияния рек Десны и Сейма.

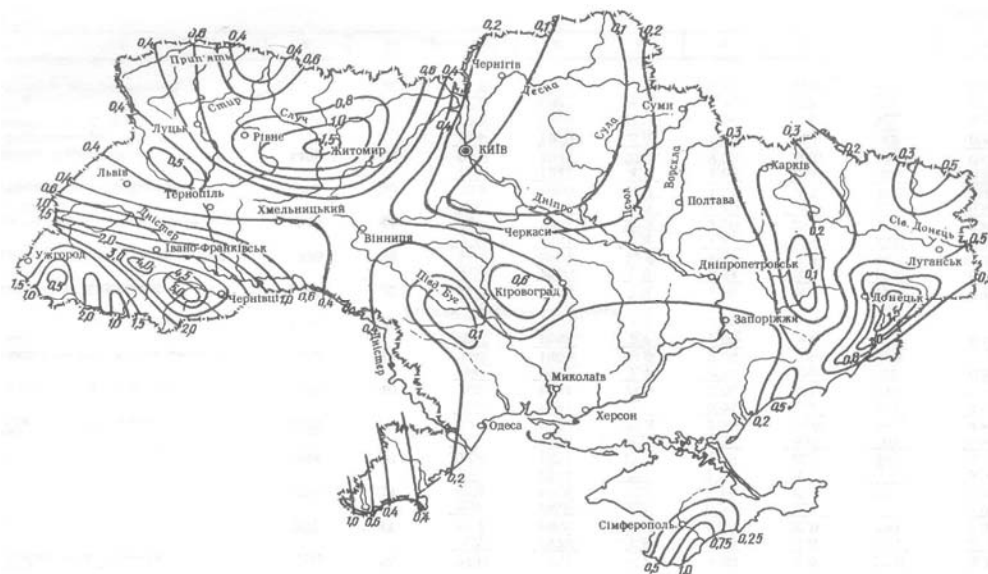


Рис. 7.10. Максимальные модули дождевого стока ($\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$) обеспеченностью 1 % для площадей водосбора 200 км^2

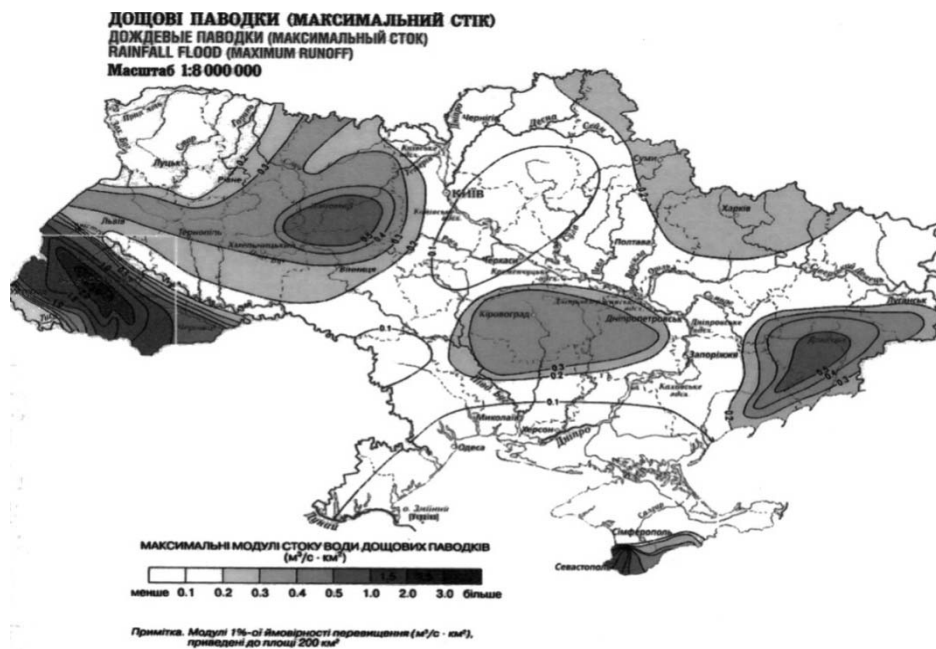


Рис. 7.11. Максимальный сток дождевого паводка территории Украины

Анализ карты, которая построена по данным наблюдений начала XXI века (рис. 7.11) фиксирует уменьшение максимальных модулей дождевого паводка 1%-ной обеспеченности до 200 км^2 , который изменяется в Полесской гидрологической области в пределах от 0,1 до $0,5 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, а в Деснянской гидрологической области эта величина составляет от 0,1 до свыше $0,2 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. В частности, Центральное Полесье находится в пределах центра, который ограничен изолинией $0,3 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. Здесь модули растут к замкнутой изолинии $0,5 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, которая ограничивает область верховья Тетерева и Ужа. Большая часть Восточного Полесья находится между изолиниями $0,1\text{--}0,2 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, при этом в Новгород-Северском Полесье модули превышают $0,2 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. На территории Украины для расчета максимального стока дождевых паводков также рекомендуется применять региональную формулу Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Для определения максимальных расходов по этой формуле необходимо знать максимальную водоотдачу дождевого стока в $\text{мм}/10 \text{ мин}$. Карта этого показателя приведена на рисунке 7.12 [1]. Распределение максимальной водоотдачи по этой карте фактически аналогично распределению максимальных модулей дождевого стока 1%-ной обеспеченности для площади водосбора 200 км^2 (рис. 7.10).

Для определения объемов дождевого паводка при отсутствии данных наблюдений необходимо знать слой дождевого стока с вероятностью превышения 1 %. Карта этого показателя была построена

по данным наблюдений к середине 80-х годов XX века (рис. 7.10) [2]. Анализ карты показывает, что территория Украинского Полесья разделена на две части. Изолиния слоя дождевого стока 40 мм почти проходит по границе между Житомирским и Киевским Полесьем. Первая часть территории характеризуется ростом слоя дождевого стока от 40 мм до 100 мм. Изолинии являют собой замкнутый центр, который ограничен величиной 60 мм. На территории этого центра величины слоя дождевого стока растут к условной середине, которая находится в среднем течении р. Турьи.

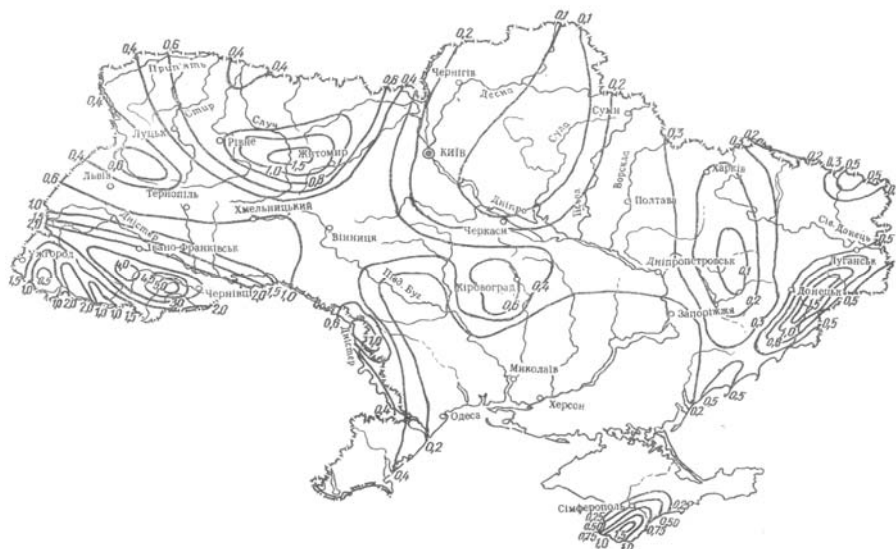


Рис. 7.12. Максимальная водоотдача дождевого стока, мм/10 мин.

Вторая часть территории характеризуется переходным распределением отмеченной величины от широтного к меридиональному. Слои дождевого максимального стока уменьшаются от 40 мм до 10 мм, в направлении из северо-запада на юго-восток.

7.5. Минимальный сток

Условия формирования минимального стока рек части территории Украинского Полесья достаточно разнообразны. Минимальный сток формируется под воздействием трех групп факторов [8]: первая – стокообразованные (прямые), вторая – непрямые, третья – условные.

При формировании минимального стока в группе *прямых факторов* главную роль играют подземные воды. Влияние осадков на минимальный сток является опосредованным. Осадки инфильтрируются в почву, питают подземные воды и соответственно питают реки в период низкого стока. В это время в питании рек могут принимать участие стоки как данного, так и предыдущего месяцев, сезонов, лет. Это зависит от геологического и гидрогеологического строения территории и ее климатических условий. Так, в суровые зимы осадки не принимают участия в формировании низкого стока, но во время оттепелей они могут питать реку длительное время через подземные водоносные горизонты. Зимой реки питаются подземными водами, которые сформировались в предыдущий осенний сезон. В целом, наблюдается соответствие между распределением низкого стока и количеством распределения стока по территории. Районам с большим количеством осадков отвечает высший минимальный сток. Меженный сток наблюдается в период резкого сокращения притока подземных вод. Основную роль в питании рек в этот период играют подземные воды временных и постоянных горизонтов. Роль временных горизонтов обуславливается климатическими и гидрогеологическими условиями. Верховодки формируются в результате таяния снега по весне и выпадения осадков за лето и осень. В современный период они образуются зимой при оттепелях и отсутствию промерзания почвы.

Постоянным источником питания рек в маловодные периоды служат грунтовые воды. Грунтовый сток зависит от количества водоносных горизонтов и их дебита. В зоне избыточного увлажнения, которая охватывает Украинское Полесье, даже на относительно малых реках с относительно малым врезом русла, питание из зоны активного водообмена является обеспеченным. Подземные воды карстовых областей определяются степенью связи воды с поверхностью, водопоглотительной способностью и водоотдачей пород, масштабами развития подземных полостей и трещин. Наибольшее значение подземные воды имеют в период меженного стока в маловодные годы. В районах Украинского Полесья карстовые воды имеют влияние на сток малых рек. В период низкого стока для питания рек определенное значение имеет характер выхода подземных вод на поверхность, который обусловлен условиями залегания подземных вод и их распространения. Для равнинной территории,

которая и является основной в Украинском Полесье, пластовые воды дренируются реками по всему периметру русла и интенсивность их разгрузки является незначительной. Концентрированные выходы подземных вод встречаются в карстовых районах на данной территории. На режим подземных вод влияет характер гидравлической связи водоносных горизонтов с рекой. Если речная система получает питание от подземных вод, то наблюдается закономерный рост речного стока с увеличением площади водосбора и глубины эрозионного вреза русла.

К *непрямым факторам* относятся гидрогеологические условия бассейна, заболоченность, лесистость и озерность. Гидрогеологические условия характеризуют способность бассейна к аккумуляции и следующего срабатывания запасов воды. Влияние озер на режим минимального стока можно оценить как позитивное. Чем больше озер на водосборе, чем больше они по размерам, тем больше минимальный сток. При оценке влияния озер необходимо учитывать их размеры. Большие озера необходимо исследовать как самостоятельные объекты влияния. Заболоченность снижает величины меженного стока заболоченных водосборов в сравнении с соседними незаболоченными. Это особенно касается данной территории, где болота могут уменьшать меженный сток за счет испарения с поверхности болот. Оценка влияния леса на меженный сток является достаточно сложной. Лес способствует переводу поверхностного стока в подземный, тем самым увеличивая меженный сток. Часть меженного стока от годового увеличивается с возрастом леса. Вырубка лесов уменьшает меженный сток на территории лесной зоны примерно до 15 % на средних реках и до 35 % – на малых реках.

К *условным факторам* можно отнести влияние хозяйственной деятельности на минимальный сток. Значительные изменения стока происходят при перебрасывании (перераспределении воды) из одной речной системы в другую, что больше всего проявляется в верховье Припяти. При проведении осушительных работ в бассейне реки средний модуль минимального стока при осушении болотного массива растет в 2–4 раза по сравнению с неосушенным болотом [15]. Значительное влияние на меженный сток имеет создание в руслах и на водосборах рек прудов. Непроточные ставки, которые устраиваются преимущественно на малых реках и в верховьях впадин и балок, перехватывают практически весь сток в межень. Проточные ставки пропускают часть стока, но в маловодный период года могут задерживать практически весь сток [16].

Для рек этой территории характерна летне-осенняя межень (когда происходит истощение запасов подземных вод), которая нарушается отдельными подъемами, вызванными дождевыми паводками, а также зимняя межень, которая прерывается в отдельные годы подъемами уровня в результате таяния снега во время оттепелей. Зимняя межень выше, поскольку формируется повышенное подземное притекание за счет осеннего увлажнения, а также за счет питания подземных вод талыми водами в период оттепелей [8]. Минимальные уровни на данной территории наблюдаются в летний период при высоких среднесуточных температурах воздуха и длительных периодах отсутствия осадков, а в зимний период при низких температурах. В бассейне Припяти в засушливые годы наблюдалось пересыхание водотоков с площадью водосбора свыше 1000 км². Промерзание наблюдается лишь на малых реках и непродолжительное время [8]. На территории бассейнов рек левобережья Украинского Полесья средний многолетний минимальный уровень (зимой) превышает минимальный уровень (открытого русла) (табл. 7.7) [17].

Таблица 7.7

Характерные уровни воды для рек бассейна р. Десна по многолетним наблюдениям

Название реки, гидрологического поста	Средний уровень за время наблюдений, см	Минимальный уровень (открытого русла)		Минимальный уровень (зимой)	
		см	дата	см	дата
Десна – г. Чернигов	330	94	27.08.2010	128	27.11.1975
Убедь – с. Кудровка	93	16	12.06.1979	24	14.03.1993
Сейм – с. Мутино	503	342	17.08.2012	376	16.11.1975
Снов – г. Щорс	126	-29	27.08.2010	43	24.12.1948
Билоус – с. Кошевка	211	163	19.08.2010	176	19.02.1996

Летне-осенняя межень на правобережных притоках Припяти обычно наступает в конце мая – в начале июня и заканчивается в октябре. В отдельные годы при дружном прохождении весеннего половодья сроки начала периода низкого стока могут несколько изменяться: конец апреля – начало мая, а в годы с затяжным половодьем или когда на спаде половодья проходят дожди, – конец июня – середина июля. В отдельные годы при отсутствии осенних паводков межень может продолжаться к началу ледовых образований – середина ноября – начало декабря. На притоках Десны и Сейма среднее время начала летне-осенней межени – конец мая – начало июня. Конец межени наблюдается во второй декаде ноября – первой декаде декабря.

Средняя длительность летне-осенней межени для малых и средних рек бассейна Припяти составляет до 130 дней, диапазон ее изменений может быть в пределах 120–140 дней. Летне-осенняя межень в бассейне Десны (рр. Убедь, Сейм, Снов) составляет 120–150 дней [8], хотя, по данным некоторых авторов [17], она составляет 80–120 дней. Средняя длительность наиболее маловодного периода летне-осенней межени в бассейне Припяти составляет 20–30 дней, а наибольшая – 60–140 дней. Средняя длительность наиболее маловодного периода в летне-осенней межени в бассейне Десны и Сейма составляет 15–20 дней. В пределах Полесья нулевой сток наблюдается на 17 водотоках с площадями водосборов 11–1200 км². Средняя длительность одного случая нулевого стока может достигать летом 195 дней [3].

Начало зимней межени на реках бассейна Припяти относится, в основном, к третьей декаде ноября – первой половине декабря. Здесь зимняя межень обычно устанавливается в конце декабря. Наиболее ранние даты наступления межени приходятся на конец октября – начало ноября, а наиболее поздние – на январь. Средняя длительность зимней межени на всех реках составляет 60–80 дней, а наибольшая – 100–120 дней. По данным исследований [3], средняя длительность межени на малых и средних реках изменяется от 49 до 100 дней. Средняя длительность одного случая нулевого стока может достигать зимой 75–100 дней. Для рек Выжевка, Стоход наибольшая длительность пересыхания может достигать 130–270 дней при среднем значении 60–160 дней. Для бассейна Десны и Сейма средняя длительность зимней межени составляет 80–120 дней. Для Украинского Полесья окончание зимней межени приходится преимущественно на первую половину марта, а в отдельные годы – на февраль.

Наиболее детальная характеристика меженного стока представлена в литературе [1], базируется на проработке данных наблюдений до 1982 г. и включает среднемесячные расходы зимней межени для рек со стойким и неустойчивым ледоставом. Эти расходы охарактеризованы в виде средних многолетних и наименьших значений. Также для этой межени представлены наименьшие среднесуточные расходы в виде среднемноголетних и экстремальных величин. Отмеченные выше расходы также представлены для летне-осенней межени. Информация о среднемноголетних характеристиках минимального среднемесячного стока рек для летне-осенней и зимней межени за период до середины 80-х годов XX века [2] охватывает средние многолетние среднемесячные расходы, их коэффициенты асимметрии и вариации, а также значения среднемесячных расходов 80%-ной обеспеченности.

Обобщение распределения величин минимального стока на данной территории [18] выявило следующую тенденцию: величины наименьших среднемесячных летних расходов закономерно снижаются на территории с юго-запада и севера на юг и юго-восток, подчиняясь на больших и средних реках общему зональному изменению климатических условий. Однако на малых реках хранится внутризональный характер изменений, который зависит от местных гидрогеологических особенностей – наличия и мощности горизонтов подземных вод, характера дренирования их речными долинами и условий их разгрузки. На правобережной части Украинского Полесья минимальные среднемесячные расходы фиксировались преимущественно в январе – феврале для Припятской ЛГП, для Бугско-Днестровской ЛГП они фиксируются в январе. На левобережной части Украинского Полесья минимальные среднемесячные расходы приходятся на январь. На правобережной части Украинского Полесья минимальные среднемесячные расходы летне-осенней межени наблюдаются чаще всего в сентябре, а на Деснянской ЛГП – в июле. В большинстве случаев в бассейне Припяти минимальные расходы фиксируются в осенний сезон. Примерно в 20–30 % случаев минимальные расходы фиксируются в летний период и столько же – в зимний [3]. Сезонное распределение годовых минимальных расходов, по данным наблюдений до 1989 г. [18], приведено в таблице 7.8.

Таблица 7.8

Сезонное распределение годовых минимальных расходов за период наблюдений до 1989 г., %

Ландшафтно-гидрологическая провинция	Сезон года			
	весна	лето	осень	зима
Припятская	7	26	36	31
Деснянская	12	44	22	22
Бугско-Днестровская	4	28	25	43

Как видно из таблицы 7.8, годовой ход формирования расходов в течение лета и осени для рек правобережной части Украинского Полесья составляет от 53 до 62 %, а левобережной – 66 %. Для этих территорий вероятность формирования годовых минимумов в зимний период – от 43–31 до 22 %.

Одна из важных характеристик минимального стока – его наименьшие среднемесячные модули. На территории правобережья Украинского Полесья, в пределах Волыно-Подольского артезианского бассейна, где распространены трещиноватые карстовые породы, за счет выходов источников

карстовых вод на реках Стыра, Горыни и Иквы формируется межень с наименьшими среднемесячными модулями стока от 0,4 до 1,9 л/(с·км²). Также в пределах Полесской низменности модули минимального стока незначительны (0,15–0,25 л/(с·км²)) и стойки, поэтому реки здесь не пересыхают. Расположенная восточнее трещиноватая область Украинского кристаллического щита (бассейна правых притоков Днепра) характеризуется изменением минимальных модулей стока от 0,1–0,5 л/(с·км²). Также для этой территории, по некоторым данным [18], минимальные годовые среднемесячные модули стока на отдельных водосборах бассейна Днепра зоны смешанных лесов изменяются от 1,25–1,80 л/(с·км²) для закарстованных водосборов (рр. Стырь, Горынь) до 0,15–0,60 л/(с·км²) для бассейнов Припяти (рр. Выжевка, Турья, Стоход, верховья Ужа) и Тетерева. Для верхних и средних частей бассейнов Случа, Уборти, Сейма их значения составляют 0,35–1,10 л/(с·км²). Модули минимальных среднемесячных расходов воды притоков рек Десны и Сейма колеблются в пределах от 0,5 до 1,5 л/(с·км²).

Исследование и анализ характеристик минимального стока по данным до 2000 г. некоторых гидропостов, расположенных в верховье Припяти, приведены в таблице 7.9 [3]. Они показывают, что значительное влияние на формирование меженного стока рек этого района имеет хозяйственная деятельность человека. Здесь с увеличением площади водосбора имеет место уменьшение минимальных расходов воды и модулей стока. Так, в меженный период в верховье р. Припять происходит значительное уменьшение меженного стока за счет забора воды в Днепро-Бугский канал.

Таблица 7.9

Основные характеристики минимального летне-осеннего стока воды на реках Полесья

Название реки, гидрологического поста	Норма стока		Коэффициент вариации, C_v	C_s/C_v
	расход воды, м ³ /с	модуль стока, л/(с·км ²)		
Припять – с. Речица	1,14	0,51	0,68	2,0
Припять – с. Любязь	0,79	0,13	0,94	2,0
Выжевка – с. Руда	0,067	0,48	-	-
Выжевка – с. Старая Выжевка	0,15	0,21	-	-
Турья – с. Ягодное	0,17	0,34	-	-
Турья – г. Ковель	0,41	0,28	0,95	1,0
Стоход – с. Любешов	2,58	0,87	-	-
Стоход – с. Малиновка	0,15	0,22	-	-
Стырь – с. Млынок	19,9	1,83	-	-
Горынь – пгт. Ямполь	1,80	1,29	0,39	1,0
Горынь – с. Оженин	10,2	1,74	-	-
Горынь – с. Деражное	18,7	2,04	-	-
Вырка – с. Сварыни	0,089	0,39	1,47	2,0
Случ – с. Громада	1,17	0,47	-	-
Случ – г. Сарны	8,49	0,64	0,72	2,5
Тня – с. Броники	0,22	0,22	-	-
Смолка – с. Суслы	0,99	0,16	0,71	2,5
Льва – с. Осницк	0,12	0,43	-	-
Уборть – с. Рудня Ивановская	0,28	0,36	-	-
Уборть – с. Перга	1,53	0,53	0,69	2,0
Уж – г. Коростень	0,28	0,19	0,47	2,5

На участке р. Припять ниже водозабора в канал практически нулевыми являются скорости течения в межень, происходит заболачивание русла и значительно ухудшается гидроэкологическое состояние [19]. Для других рек – притоков Припяти, по данным многолетних наблюдений (табл. 7.9), наблюдается четкая тенденция увеличения модулей минимального стока при увеличении площади водосбора. Это можно объяснить увеличением процента подземного питания в общем объеме стока и большим количеством водоносных горизонтов подземных вод, которые дренируются рекой. Так, для р. Горынь модуль минимального стока изменяется от 1,29 (пост Ямполь, площадь водосбора 1400 км²) до 1,74 л/(с·км²) (пост Деражное, площадь водосбора 9160 км²). Из таблицы 7.9 видно, что коэффициенты вариации минимального стока на реках бассейна Припяти изменяются от 0,54 (р. Горынь – с. Деражное) до 1,41 (р. Случ – с. Громада) при соотношениях C_s/C_v от 1,0 (рр. Турья, Горынь) до 2,5 (рр. Случь, Смолка, Уж).

Выход меловых вод наблюдается в пределах Полесской низменности, в виде восходящих источников с дебитом до 200 м³/ч. Эти воды питают ряд озер, болотные массивы и частично правобережные притоки Припяти – рр. Турья, Стоход, Стырь. Для этих рек модуль минимального среднего

суточного стока 97 % обеспеченности составляет от 0,07–0,18 л/(с·км²). На этой же территории для рек, питание которых проходит из водоносных горизонтов аллювиальных и флювиогляциальных отложений имеют место низкие модули минимального стока. Так, в летнюю межень модули минимального среднесуточного стока 97 % обеспеченности изменяются от 0,00–0,02 л/(с·км²), а в зимнюю – от 0,00–0,05 л/(с·км²). Поэтому в засушливые годы сток в таких реках полностью прекращается на 15–120 дней в теплый период года. Такое прекращение также может происходить во время холодных безоттепелевых зим [1].

По данным наблюдений на середину 80-х годов XX века, разработана карта районирования рек Украины по условиям формирования минимального стока (рис. 7.13) [1], на которой выделены гидрогеологические районы и подрайоны.

Территория Украинского Полесья охватывает 5 районов: реки сниженной равнины Припятского Полесья, верховья рек Стырь, Горынь и Случь, бассейны рек Тня, Уборть, Ирша, бассейны Десны и Сейма. Для каждого района в зависимости от отметки вреза русла, средней высоты бассейна можно определить среднесуточный и среднесуточный летний и зимний модуль минимального стока 97 % обеспеченности. Также с помощью районирования в зависимости от отметки вреза русла можно определить длительность пересыхания и перемерзания рек.

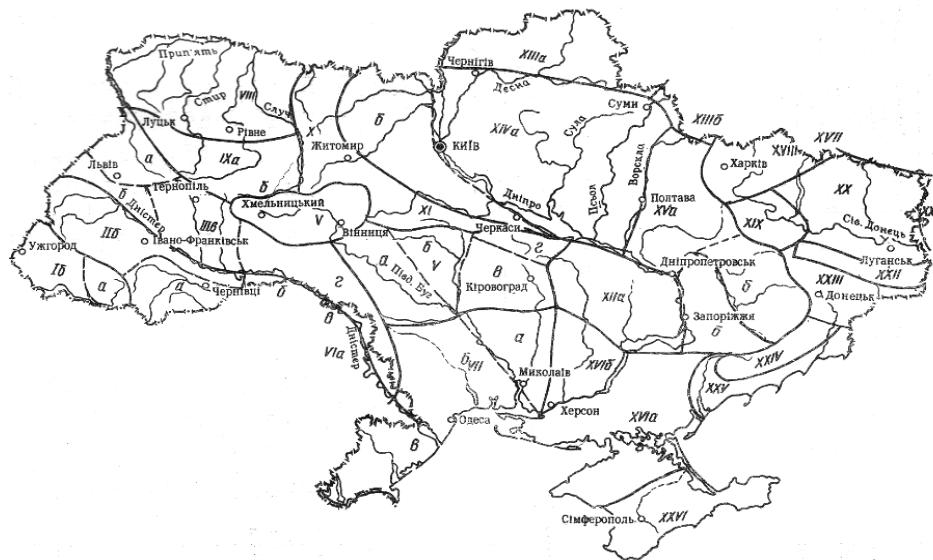


Рис. 7.13. Районирование рек Украины по условиям формирования минимального стока

Для отмеченных гидрогеологических районов определены переходные коэффициенты от минимального среднесуточного расхода 80 % обеспеченности к этим же расходам других обеспеченностей, а также проведено районирование территории Украины по условиям формирования минимального стока (рис. 7.14) [2].

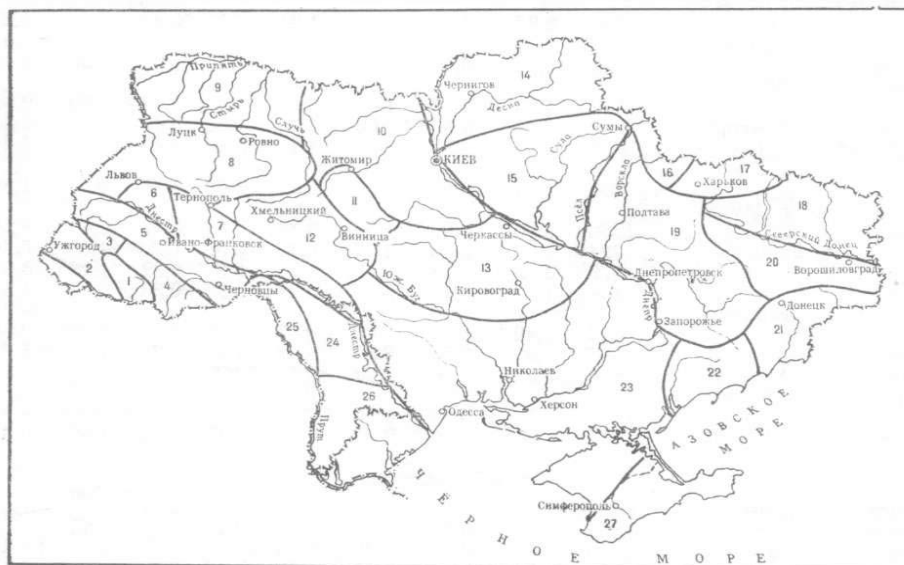


Рис. 7.14. Районирование рек Украины по условиям формирования минимального стока

Территория Украинского Полесья охватывает шесть районов, для которых указаны переходные коэффициенты для определения минимальных расходов воды расчетной обеспеченности от минимальных расходов 80%-ной обеспеченности.

7.6. Изменения водного режима

За многолетний период наблюдений изменения речного стока проявляются в виде постоянных колебаний характеристик (средних за год, минимальных, максимальных) расходов воды по годам. Эти колебания оказываются в виде последовательных чередований многоводных и маловодных групп лет. Отмеченные группы образуют циклы, которые имеют разную длительность и амплитуду колебания водности. Выделяются многоводные фазы цикла – это периоды, когда наблюдается рост водности, и маловодные фазы – период уменьшения водности. Исследования такой квазициклическости были проведены для верховьев р. Припяти [3]. По результатам анализа характерных расходов воды за период наблюдений 1946–2000 гг. выявлено, что циклы изменений средних за год расходов воды для всех проанализированных рек – створов практически совпадают и отличаются лишь амплитудой колебаний. Анализ разностных интегральных кривых средних за год расходов воды показал, что с конца 40-х годов XX века по 1973 г. включительно на реках в верховьях р. Припять прослеживалась маловодная фаза. На фоне общей сниженной водности периода можно удалить многоводные 1948, 1955, 1966, 1970 гг. Сделан вывод о том, что начиная с 1974 г. фиксируется повышение водности рек бассейна. Эта фаза длилась всего 8–9 лет (до 1982 г.), а в дальнейшем она опять изменилась маловодной, что, вероятно, связано с региональными изменениями климата. При этом считается, что начало климатических изменений приходится на конец 70-х – начало 80-х годов XX века [3]. На этом фоне многолетние значения средних за год расходов воды за период с 1982 по 2000 год в сравнении с расходами за весь период наблюдений фактически не изменились или несколько уменьшились.

Анализ разностных интегральных кривых колебаний максимальных и минимальных расходов на реках верховья р. Припять также показывает наличие многоводных и маловодных периодов (фаз) в колебаниях максимального и минимального стока. В колебаниях максимальных расходов были выделены два периода водности – многоводный к началу 80-х годов XX века и маловодный после 1982 г. Исследователи сделали вывод о том, что в течение последних 20 лет XX века часть весеннего стока постоянно уменьшалась, учитывая, что максимальные расходы характеризуют в основном весеннее половодье. Зафиксировано, что средние многолетние значения максимальных расходов за 1982–2000 гг. в сравнении с их значениями за весь период наблюдений уменьшились в 1,4–2,2 раза. Анализ разностных интегральных кривых минимальных расходов, которые построены для постов с самыми длительными рядами наблюдений, показывает, что к началу 70-х годов XX века отмечено уменьшение минимальных расходов. Начиная с 1973 г. наступает период увеличения минимального стока. Сделан вывод [3] о том, что этому способствовало проведение осушительных мелиораций и регулирование водного режима системой прудов и водохранилищ. Также выявлен существенный рост минимальных расходов воды со второй половины 80-х годов до конца XX века. Причиной такого повышения меженного стока являются естественные и антропогенные факторы. Первые обусловлены изменением климатических характеристик (более влажное лето и теплая, с частыми оттепелями зима), вторые – регулированием стока рек, неудовлетворительным состоянием осушительных систем, которые вызывают повторное заболачивание и зарастание русел и заводей, что приводит к замедлению стекания воды.

На кафедре водохозяйственной экологии, гидрологии и гидравлики Национального университета водного хозяйства и природопользования (НУВХП) проводились исследования изменений водного режима рек Западного Полесья в контексте региональных климатических изменений. Для оценки возможных изменений определялась однородность рядов наблюдений средних за год расходов на примере рек Полесской области чрезмерной водности [3] (р. Стырь – г. Луцк, р. Выжевка – с. Старая Выжевка, р. Турья – с. Ягодное, р. Турья – г. Ковель). Для количественной оценки однородности этих рядов были применены параметрические статистические критерии: Фишера (F-критерий) и Стьюдента (t-критерий). Также были использованы непараметрические критерии Вилкоксона (W), Вандер Вардена (X), Сиджела-Тьюки (S), критерий серий (Q) и критерий Колмогорова-Смирнова (λ^2). Для корректного применения статистических критериев необходимо учитывать внутривидную связность рассмотренных рядов, то есть $r(1)$ – коэффициент автокорреляции. Оказалось, что ряды средних за год расходов воды состоят из независимых величин, потому что $r(1)$ не превышали 0,2. Это говорит о возможном отсутствии циклических колебаний и изменений. Но при этом были выявлены односторонние изменения на рост средних годовых расходов воды. Коэффициенты линейных трендов (α) имели положительные значения, и выделенные тренды были статистически значимыми. Во всех

случаях отношения (α) к погрешности коэффициента линейного тренда ($\sigma\alpha$) превышало 2. Моментом нарушения однородности рядов считался 1980 г., который отвечает началу роста средних годовых температур воздуха в Северном полушарии. Результаты проверки однородности рядов по указанным критериям приведены в таблице 7.10.

Таблица 7.10

Коэффициенты линейных трендов и однородность рядов средних годовых расходов воды рек Волынского Полесья

Река, пункт	α , м ³ /с за 10 лет	F	t	W	X	S	Q	λ^2
р. Турья – г. Ковель	+0,09	0	0	0	0	н	0	0
р. Турья – с. Ягодное	+0,07	0	0	н	0	н	0	0
р. Стырь – г. Луцк	+0,09	0	0	н	0	н	0	0
р. Выжевка – с. Старая Выжевка	+0,11	0	н	н	0	н	0	0

Примечание: 0 – ряд однородный, н – ряд неоднородный.

По параметрическим критериям: по отличиям в отклонениях (F) и в средних значениях двух выборок ряды средних за год расходов воды оказались однородными. По непараметрическим критериям ряды были неоднородными по отличиям в средних значениях (W) и отклонениях (S), при этом нарушение однородности рядов по изменениям в характере распределения (λ^2 и Q) не выявлено. Для подтверждения выделенного момента нарушения неоднородности рассмотренных рядов средних годовых расходов воды были применены разностные интегральные кривые [20]. Их анализ выявил, что наибольшая ордината на этих кривых приходится на 1981 или 1982 г., которые были обусловлены моментами нарушения однородности рядов средних за год расходов воды. Проверка однородности рядов по отличиям двух выборок (от и до момента нарушения однородности) по параметрическим и непараметрическим критериям показала аналогичные результаты (табл. 7.10). Также была проведена оценка синхронности колебаний часовых рядов средних за год расходов воды (Q), средних за год температур воздуха (T), относительной влажности воздуха (t), дефицитов влажности воздуха (d) и годовых сумм атмосферных осадков (h) по интегральным кривым на примере наблюдений на р. Горынь – с. Оженин метеостанции Ровно за 1943–2010 гг. [21]. Анализ цикличности колебаний метеорологических величин и годового стока позволил определить часовые интервалы изменений этих показателей в таблице 7.11.

Таблица 7.11

Колебания метеорологических величин и средних годовых расходов воды

Показатель	Интервал времени	Характеристика интервалов
Q, м ³ /с	1943-1968	Маловодная фаза
	1969-1982	Многоводная фаза
	1983-1997	Маловодная фаза
	1998-2006	Многоводная фаза
h, мм	1945-1953	Уменьшение осадков
	1954-1981	Увеличение осадков
	1982-1996	Уменьшение осадков
	1997-2010	Увеличение осадков
f, %	1945-1981	Увеличение влажности
	1982-2010	Уменьшение влажности
T, °C	1945-1988	Уменьшение температур
	1989-2010	Увеличение температур
d, гПа	1947-1961	Рост сухости
	1962-1991	Уменьшение сухости
	1992-2005	Увеличение сухости

Наибольшие ординаты интегральных кривых средних за год расходов воды и главных показателей влагооборота (h) и (f) совпадают во времени, поэтому моментом нарушения однородности рядов средних за год расходов воды был принят 1982 г.

Анализ водного режима рек Западного Полесья (рр. Выжевка, Турья, Стоход, Стырь, Горынь) по рядам средних расходов воды за год (Q_i), минимальных зимних средних за месяц расходов ($Q_{\text{змин}}$), минимальных средних за месяц расходов ($Q_{\text{мин}}$) и максимальных среднемесячных расходов весеннего половодья (Q_{max}) был проведен за период наблюдений 1943–2007 гг. [22]. Выявлены однонаправленный статистически значимый рост минимальных расходов и средних за год расходов воды и одно-

направленное уменьшение максимальных расходов весеннего половодья. Больше всего растут (относительно в процентах) минимальные расходы зимней межени, а менее всего – средние расходы за год. С помощью разностных интегральных кривых, отмеченных характеристик стока выявлены фазы их уменьшения и роста. Для рядов Q_i можно выделить четыре последовательных фазы. Для рек Турья, Выжевка, Стоход фаза уменьшения водности длилась до 1973 г., фаза ее увеличения – до 1981–1982 гг., следующая фаза уменьшения водности – до 1997 г., а с этого момента наблюдается увеличение водности. Для рек Стырь, Горынь фаза уменьшения водности длилась до 1964–1968 гг. Моменты перехода к другим фазам аналогичны. Для рядов $Q_{\text{змин}}$ и $Q_{\text{л-omin}}$ можно выделить две последовательных фазы уменьшения и роста водности. Для рек для рядов $Q_{\text{л-omin}}$ Стырь, Горынь, Стоход фаза уменьшения водности наблюдалась до 1964–1968 гг. После этого наступила фаза повышенной водности. Для рек Турья, Выжевка момент перехода от фазы уменьшения к фазе увеличения водности приходится на 1971–1973 гг. Для рядов $Q_{\text{змин}}$ для рек Стырь, Горынь момент перехода от фазы снижения водности к фазе повышенной водности приходится на 1965–1970 гг., а для рек Турья, Выжевка, Стоход – на 1987 г. Для рядов Q_{max} фаза уменьшения расходов была до 1964–1965 гг., фаза роста расходов – до 1979–1983 гг. После этого момента наступила фаза уменьшенной водности, которая длится до сих пор.

Разработка мероприятий относительно перспективного использования и охраны водных ресурсов требует оценки изменений в питании рек, во внутригодовом распределении стока, а также оценки изменений минимальных расходов воды в реках. Современные исследования показывают рост части подземного питания, увеличения части летне-осенней межени в годовом объеме стока, увеличения минимальных среднемесячных расходов воды за период зимней и летне-осенней межени [20, 21]. Вопросы исследования изменений минимального стока являются актуальными для оценок процессов влагообмена в контексте современных региональных климатических изменений, а также для характеристики самоочищающейся способности водотоков. В НУВХП проводились исследования изменений минимальных средних за месяц расходов воды. Объектом исследований была р. Горынь от ее верховья к выходу на Полесской низменности, которая согласно гидрологическому районированию Украины проходит по Волынской подобласти достаточной водности и Верхнеприпятско-Бугской подобласти повышенной области. Были использованы материалы наблюдений по следующим гидрологическим постам: р. Выжевка – с. Старая Выжевка, р. Турья – г. Ковель и с. Ягодное, р. Стоход – с. Любешов.

Целью работы было проведение статистического анализа часовых рядов минимальных 30-дневных (средних за месяц) расходов воды летне-осенней и зимней межени на предмет выявления направленных изменений и аperiodических (циклических) колебаний непосредственно по данным режимных наблюдений за период 1943–2006 гг. По данным наблюдений были выбраны значения минимальных 30-дневных расходов воды в такой последовательности: в каждом расчетном году периода наблюдений выделяли половодье (март-май), летне-осеннюю межень (июль-ноябрь) и зимнюю межень (декабрь-февраль); в фазах межени для каждого года наблюдений находили наименьшие среднемесячные расходы воды, которые и будут отвечать значениям минимальных средних за 30 дней расходов воды. Проявлением возможных циклических колебаний около среднего значения является наличие внутрирядной связности. Ее оценивали по коэффициенту автокорреляции – $r(1)$, то есть по статистическому показателю, который характеризует тесноту связи между смежными членами ряда. Этот коэффициент рассчитывали по стандартным формулам математической статистики. Результаты расчетов приведены в таблице 7.12). Считается, что наличие внутрирядной корреляции при $r(1) \square 0,4$ отвечает проявлениям разнообразных циклов водности [22].

Таблица 7.12

Значение коэффициентов автокорреляции $r(1)$ минимальных среднемесячных рядов рек Западного Полесья

Гидрологические посты	Периоды	
	Летне-осенняя межень	Зимняя межень
р. Горынь – с. Ямполь	0,59	0,72
р. Горынь – с. Оженин	0,70	0,62
р. Горынь – с. Деражное	0,69	0,60
р. Выжевка – с. Старая Выжевка	0,03	0,26
р. Турья – с. Ягодное	0,19	0,34
р. Турья – г. Ковель	0,16	0,37
р. Стоход – пгт. Любешов	0,37	0,53

Рассмотрены ряды минимальных расходов р. Горынь, они имеют значительную внутрирядную связность, так как $r(1)$ превышает 0,4, что можно считать проявлением разнообразных циклов водно-

сти. Рассмотренные ряды минимальных расходов зимней межени имеют достаточно значительную внутрирядную связность. В то же время ряды минимальных расходов летне-осенней межени в большинстве случаев имеют слабую внутрирядную связность.

Одним из основных методов изучения направленных изменений среднего значения служит оценка трендов среднего значения во времени. Нами была рассмотрена регрессия данных наблюдений во времени и определены коэффициенты линейного тренда (α). Он характеризует среднюю скорость изменения уровня ряда в интервале времени, который рассматривается в литературе [22].

В результате нами было выявлено однонаправленное увеличение минимальных расходов воды за период наблюдений как для летне-осенней, так и зимней межени (табл. 7.13). Графическое выражение направленных изменений минимальных расходов приведено на (рис. 7.15).

Таблица 7.13

Значение коэффициентов линейного тренда (α) минимальных среднемесячных расходов воды рек Западного Полесья, м³/с за год

Гидрологические посты	Периоды	
	Летне-осенняя межень	Зимняя межень
р. Горынь – с. Ямполь	+0,055	+0,064
р. Горынь – с. Оженин	+0,193	+0,247
р. Горынь – с. Деражное	+0,240	+0,306
р. Выжевка – с. Старая Выжевка	+0,0060	+0,015
р. Турья – с. Ягодное	+0,009	+0,014
р. Турья – г. Ковель	+0,015	+0,027
р. Стоход – пгт. Любешов	+0,055	+0,154

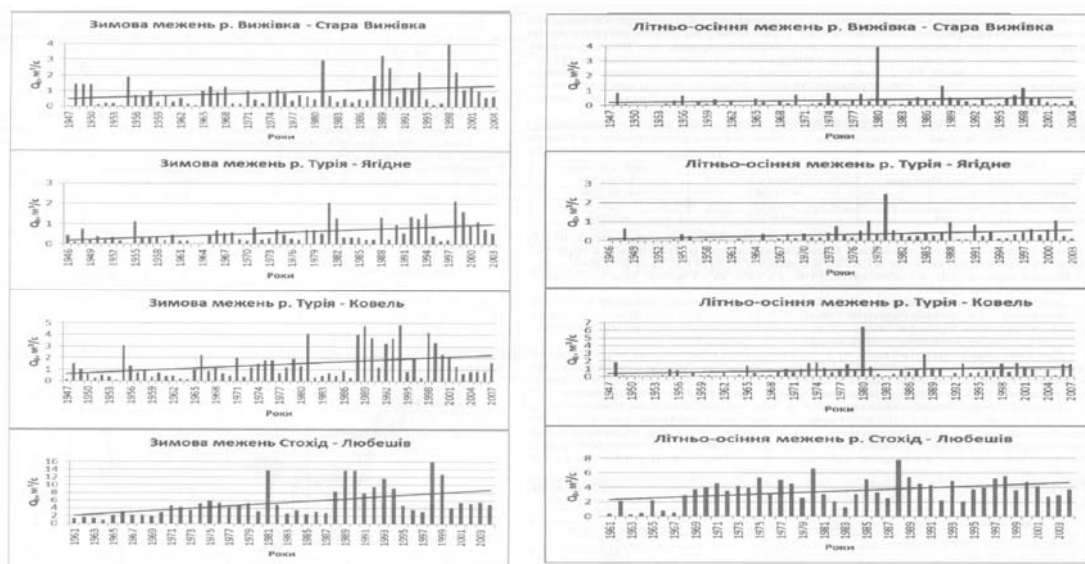


Рис. 7.15. Изменение минимальных расходов воды зимней и летне-осенней межени в верховье Припяти

Кроме того, было определено для р. Горынь относительное увеличение минимальных расходов от их среднемноголетнего значения. Оно увеличивалось для гидрологического поста Ямполь в летне-осеннюю межень +1,43 %, а в зимнюю – +1,56 %. Для постов Оженин и Деражное соответственно: +1,33 и +1,58 %; +1,15 и +1,28 %. Для рек в верховьях Припяти оно составило для р. Выжевка – с. Старая Выжевка в летне-осеннюю межень +1,61 %, а в зимнюю – +1,57 %. Для р. Турья – с. Ягодное и г. Ковель соответственно: +2,50 и +2,38 %; +1,74 и +1,87 %. Для р. Стоход – с. Любешов: +1,58 и +2,83 %. Графическое выражение направленных изменений минимальных расходов приведено на рисунке 7.16.

Для оценки статистической значимости наличия трендов обычно рассматривается вероятность нулевой гипотезы и вероятность того, что $\alpha = 0$. В качестве условия, при котором нулевая гипотеза отбрасывается, используется соотношение $\alpha/\sigma_\alpha \geq 2$, где σ_α – выборочная переменчивость коэффициента тренда (табл. 7.14).

Для выявленных трендов (табл. 7.14) во всех случаях отношения $\alpha/\sigma_\alpha \geq 2$, что говорит об их статистической значимости. Таким образом, рост минимальных меженных расходов за период до второй половины XX века включительно можно считать действительно выявленным.

Оценка статистической значимости выявленных трендов минимальных расходов

Гидрологические посты	Периоды	
	Летне-осенняя межень	Зимняя межень
р. Горынь – с. Ямполь	5,50	6,40
р. Горынь – с. Оженин	4,95	5,25
р. Горынь – с. Деражное	4,44	4,94
р. Выжевка – с. Старая Выжевка	3,27	2,16
р. Турья – с. Ягодное	2,74	3,54
р. Турья – г. Ковель	2,11	2,90
р. Стоход – пгт. Любешов	2,71	3,28

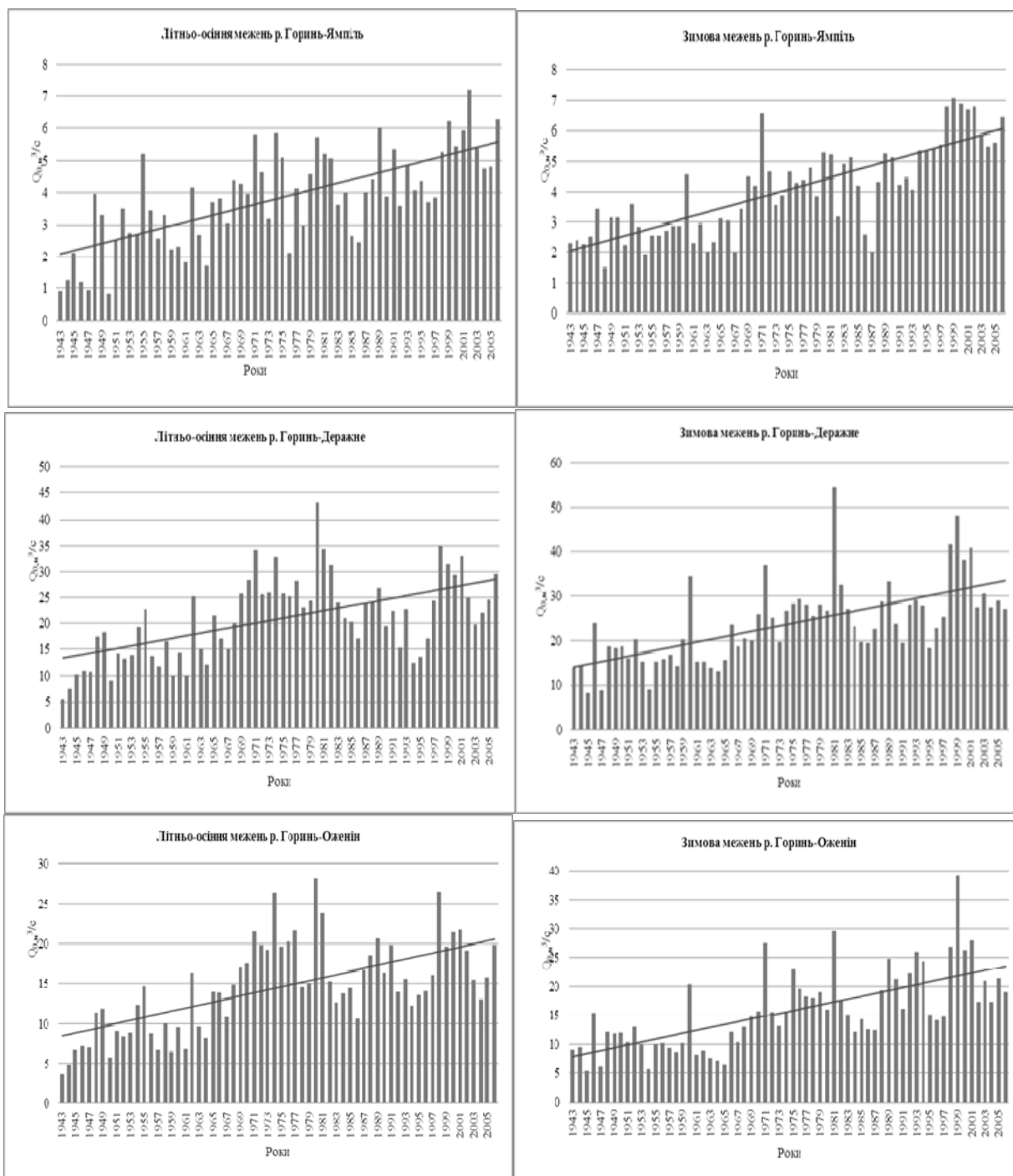


Рис. 7.16. Изменение минимальных расходов воды летне-осенней и зимней межени за период наблюдений в верховье р. Горынь

Изменения гидрологических характеристик во времени имеют квазициклический характер, то есть идет последовательное изменение периодов маловодных и многоводных лет. Отмеченные циклы имеют разную длительность, степень отклонения от среднего значения и четкость проявления. Эти изменения можно выявить, если ряд наблюдений будет не менее 50 лет. Для выделения приведенных квазипериодических изменений нужно использовать разностную интегральную кривую. Для ее построения предварительно надо определить статистические параметры рядов минимальных расходов воды, а именно среднюю многолетнюю величину этих расходов (Q_0), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s). Средние многолетние значения минимальных расходов воды даны в таблице 7.15.

Таблица 7.15

Средние многолетние значения минимальных средних за месяц расходов воды (Q_0 , м³/с) рек Западного Полесья

Гидрологические посты	Периоды	
	Летне-осенняя межень	Зимняя межень
р. Горынь – с. Ямполь	3,83	4,06
р. Горынь – с. Оженин	14,8	15,8
р. Горынь – с. Деражное	20,9	23,9
р. Выжевка – с. Старая Выжевка	0,38	0,92
р. Турья – с. Ягодное	0,34	0,58
р. Турья – г. Ковель	0,86	1,44
р. Стоход – пгт. Любешов	3,47	5,44

Статистические параметры C_v и C_s были вычислены в соответствии с нормативными документами [23] по методу наибольшей правдоподобности и методу моментов. Результаты расчетов приведены в таблице 7.16.

Таблица 7.16

Значения C_v и C_s минимальных расходов воды летне-осенней межени рек Западного Полесья

Гидрологические посты	Летне-осенняя межень			
	Метод моментов		Метод наибольшей правдоподобности	
	C_v	C_s	C_v	C_s
р. Горынь – с. Ямполь	0,41	0,41	0,38	0,06
р. Горынь – с. Оженин	0,39	0,39	0,38	0,38
р. Горынь – с. Деражное	0,38	0,57	0,38	0,25
р. Выжевка – с. Старая Выжевка	1,59	8,05	1,38	4,83
р. Турья – с. Ягодное	1,20	4,35	1,17	2,93
р. Турья – г. Ковель	0,92	5,5	1,08	2,7
р. Стоход – пгт. Любешов	0,49	0,07	0,52	0,52
Гидрологические посты	Зимняя межень			
	Метод моментов		Метод наибольшей правдоподобности	
	C_v	C_s	C_v	C_s
р. Горынь – с. Ямполь	0,38	1,33	0,37	0,37
р. Горынь – с. Оженин	0,44	1,10	0,38	1,14
р. Горынь – с. Деражное	0,38	1,14	0,44	0,97
р. Выжевка – с. Старая Выжевка	0,92	0,54	0,91	2,285
р. Турья – с. Ягодное	0,85	1,68	0,84	2,10
р. Турья – г. Ковель	0,89	1,50	0,92	2,76
р. Стоход – пгт. Любешов	0,73	1,63	0,72	2,88

Полученные результаты для р. Горынь свидетельствуют о том, что переменчивость минимального стока за летне-осеннюю и зимнюю межень фактически одинакова (в среднем минимальные расходы изменяются от 37 до 44 % их среднего многолетнего значения). Асимметричность рядов минимальных расходов летне-осенней межени меньше, чем для зимней межени. Полученные результаты для рек в верховье Припяти говорят о том, что переменчивость минимального стока за летне-осеннюю межень больше, чем переменчивость минимального стока за зимнюю межень. При этом асимметрия рядов минимальных расходов летне-осенней межени больше, чем для зимней межени.

Определения ординат интегральных кривых минимальных меженных расходов воды выполнялись по стандартной методике, которая изложена в нормативных документах [23], при этом были использованы значения C_v , полученные за методом наибольшей правдоподобности. Результаты построения отмеченных кривых приведены на рисунках 7.17 и 7.18.

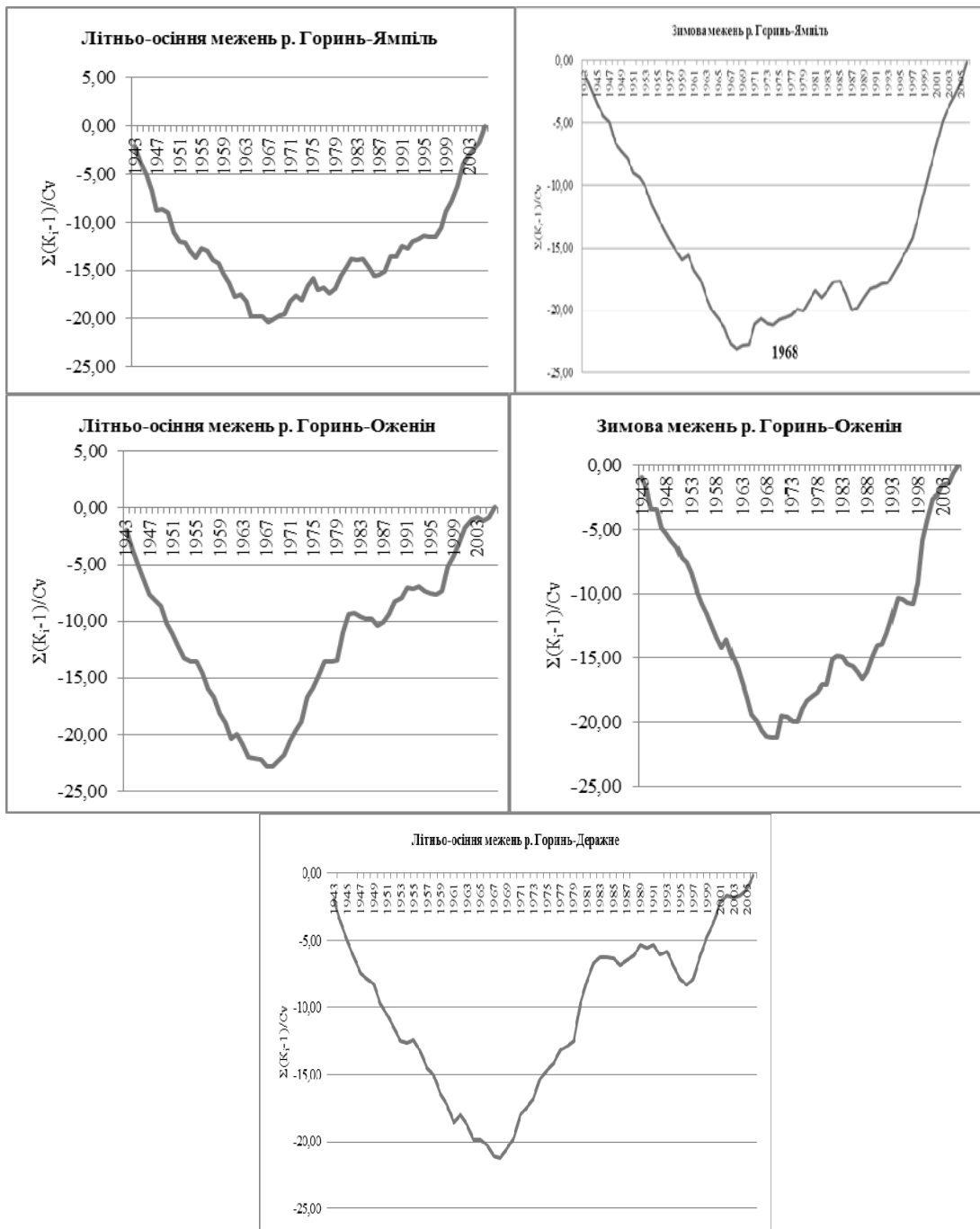


Рис. 7.17. Разностные интегральные кривые минимального стока летне-осенней и зимней межени р. Горынь

Анализ полученных разностных интегральных кривых для летне-осенней и зимней межени для трех гидрологических постов в верховьях р. Припяти показывает, что с 1943 г. наблюдается фаза уменьшения минимального стока, которая длилась до конца 60-х – начала 70-х годов XX века. В дальнейшем она сменилась фазой постепенного увеличения минимального стока, которая продолжается до сегодняшнего времени, при этом с 1993–1996 гг. наблюдается достаточно стремительный рост минимального стока.

Анализ полученных разностных интегральных кривых для четырех гидрологических постов в верховье р. Припяти показывает, что для летне-осенней межени выделяется фаза уменьшения минимального стока, которая длилась от начала наблюдений до конца 60-х – начала 70-х годов XX века. В дальнейшем она сменилась фазой постепенного увеличения минимального стока, которая продолжается до сегодняшнего времени. Для зимней межени выделяется фаза уменьшения минимального стока, которая длилась во время наблюдений до второй половины 80-х годов XX века, за которой наступила фаза постепенного нарастания минимальных расходов.

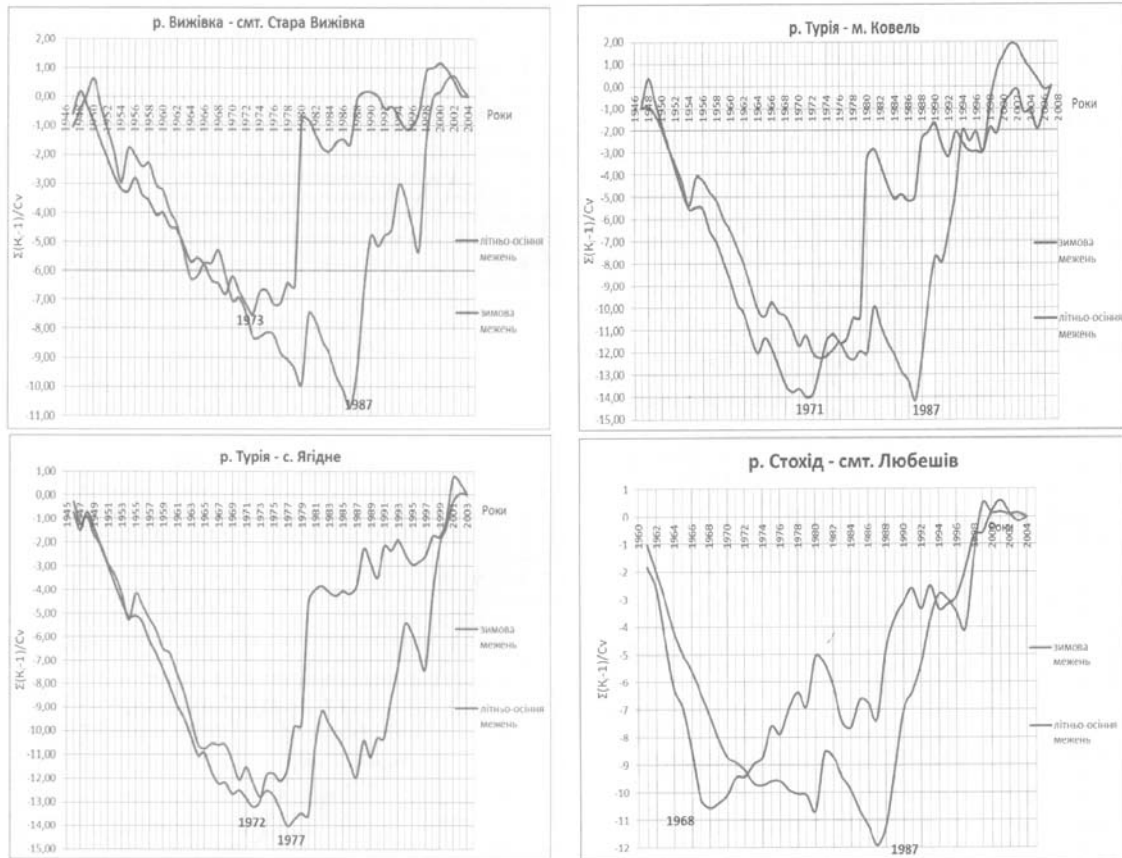


Рис. 7.18. Разностные интегральные кривые минимального стока летне-осенней и зимней межени

Для рек верховья Припяти выявлена значительная внутриводораздельная связность рядов минимальных расходов для зимней межени, а также для летне-осенней межени. Для рек верховья Припяти также выявлены два синхронных периода уменьшения минимальных расходов воды. Для летне-осенней межени минимальные расходы уменьшаются до конца 60-х – начала 70-х годов XX века, а для зимней межени отмечено уменьшение ко второй половине 80-х годов. После данных моментов началось увеличение минимальных расходов, которое длится до сих пор.

Современное состояние водного режима рек Украинского Полесья оценено В. В. Гребинем [18] при ландшафтно-гидрологическом районировании территории Украины. Были выделены ландшафтно-гидрологические провинции (ЛГП) – системы региональной размерности, которые определены пространственно-временным сочетанием климатического фона тепло- и влагообеспеченности и крупных орографических элементов рельефа или морфоструктурных образований разного знака. Данная теория по физико-географическому районированию полностью включает Припятскую и Деснянскую ЛГП, Волынский возвышенный и северную часть Розтоцко-Опольского возвышенного ландшафтно-гидрологического района Бугско-Днестровской ЛГП. Для отмеченных таксономических единиц обоснованы временные границы периода измененного водного режима рек; установлены изменения в питании рек; выявленные изменения во внутригодовом распределении стока рек; оценены изменения максимального и минимального стока.

Для выбора временных границ периода измененного водного режима рек были применены разностные интегральные кривые средней годовой температуры воздуха. Анализ этих кривых позволил выделить 1989 г. в качестве переломного момента начала потепления на территории Украинского Полесья и Украины в целом [18].

Подтверждением этого выбора была проверка однородности рядов средних месячных, средних, максимальных и минимальных годовых расходов за два избранных временных периода (1951–1988 и 1989–2008 гг.) в пределах ЛГП. Однородность рядов оценена как по параметрическим статистическим критериям (t – критерий Стьюдента и F – критерий Фишера), так и по непараметрическим W – критерием Вилкоксона (табл. 7.17).

Нарушение однородности исследуемых рядов расходов воды может считаться доказанным, если количество случаев нарушений однородности по отмеченным критериям превышает критическую – 50 %. Проверка нарушения однородности рядов относительно средних значений (t -критерий и W -

критерий) и относительно дисперсий (F-критерий) показала, что ряды средних расходов воды за год, в целом, можно считать однородными (за исключением Припятской ЛГП – 57 %).

Таблица 7.17

Количество случаев нарушения однородности рядов расходов воды по параметрическим и непараметрическим статистическим критериям, %

Месяцы	Ландшафтно-гидрологические провинции								
	Припятская ЛГП			Деснянская ЛГП			Бугско-Днестровская ЛГП		
	F	t	W	F	t	W	F	t	W
01	43	14	86	25	75	100	50	50	100
02	43	0	71	50	0	75	50	0	75
03	14	0	14	75	0	75	75	75	25
04	71	57	43	100	75	25	50	0	0
05	100	14	43	25	25	75	50	25	0
06	43	28	57	50	25	100	100	0	25
07	57	43	29	50	0	100	50	0	25
08	43	14	57	75	25	100	25	50	75
09	57	14	71	25	50	75	50	75	100
10	86	14	43	50	75	75	75	50	100
11	100	14	29	25	75	100	75	0	25
12	71	14	29	50	50	75	50	50	75
Год	29	57	14	50	50	25	50	0	25
Максим.	86	86	57	100	75	75	75	75	75
Минимал.	43	86	71	25	50	100	50	75	75

По указанным статистическим критериям наиболее существенными являются нарушения рядов максимальных расходов воды (максим.) от 57 к 100 % всех гидрологических постов, расположенных в отмеченных ЛГП. Критическое количество нарушений однородности рядов минимальных расходов (минимал.) фиксируется только для t-критерия и W-критерия. Соответственно: по критерию Вилкоксона такие нарушения охватывают в Деснянской ЛГП 100 % гидрологических постов, в Припятской ЛГП – 71 %, а в Бугско-Днестровской – 75 %; по критерию Стьюдента нарушения отмечены в Припятской ЛГП на 86 % постов, в Бугско-Днестровской – на 75 %, а Деснянской – на 50 %. Территориально наиболее существенные нарушения средних за месяц расходов воды наблюдаются на левобережной части Украинского Полесья. По всем рассмотренным статистическим критериям больше всего случаев нарушения таких расходов выявлено в Деснянской ЛГП (количество месяцев с нарушениями – 18), в Припятской (13) и Бугско-Днестровской ЛГП (12) в связи с тем, что ряды средних за месяц расходов воды асимметричны, наибольшее количество нарушений однородности этих расходов для всех ЛГП отмечено по критерию Вилкоксона (28 месяцев), по критерию Фишера (12 месяцев) и по критерию Стьюдента (7 месяцев). По фазам водного режима по всем рассмотренным критериям для отмеченных ЛГП наибольшее количество нарушений однородности рядов средних за год расходов воды соответствует летне-осенней межени (35 месяцев), а наименьшее – на период весеннего водополюя (7 месяцев).

Оценка изменений в питании рек Украинского Полесья за период 1989–2008 гг. была проведена для трех гидрологических постах (р. Горынь – с. Оженин, р. Случ – г. Сарны, р. Снов – г. Щорс) в характерные по водности годы: маловодные, средние, многоводные [18]. Выявлено, что в течение отмеченного периода в сравнении с 1951–1988 гг. уменьшилась часть снежного питания соответственно с 42,0 до 26,0 %; с 50,7 до 48,8 %; с 57,7 до 50,1 %. Снежное питание уже не составляет подавляющую часть годового стока. Уменьшение части снежного питания проводит к одновременному росту части подземного питания [24]. Так, для отмеченных гидрологических постов за период 1989–2008 гг. она соответственно выросла: с 31 до 54,2 %; с 24,6 до 35,5 %; с 26,3 до 29,9 %. Как видим, уменьшение доли снежного питания и роста доли подземного питания проходит более интенсивно на правобережье Украинского Полесья. В районах распространения карстовых пород и достаточной зарегулированности стока часть подземного стока становится преобладающей. Так, для р. Горынь – с. Оженин она достигала 54,2 %. Изменение части дождевого питания отвечает изменениям годового количества осадков [25]. За период 1951–1988 гг. с уменьшением водности года сокращалась часть снежного питания и росла часть дождевого и подземного питания. За период 1989–2008 гг. с уменьшением водности года не прослеживается тенденция к сокращению части снежного питания, но при этом уменьшается часть дождевого питания и увеличивается часть подземного [18]. Доля подземного питания в маловодные годы становится наибольшей, а в районах распространения карста – преобла-

дающей. Наиболее интенсивно доля снежного питания уменьшилась в многоводные годы при их уменьшении для всех групп лет. Для отмеченных ЛГП по величинам минимального среднего месячного стока определен постоянный подземный сток, а по величинам минимального годового стока за многолетний период – постоянный подземный сток. Разница между ними дает возможность отметить внутриводосборное (верховодно-алювиальное) питание (табл. 7.18).

Таблица 7.18

Часть полного, постоянного и внутриводосборного подземного питания в % от объема годового стока за период 1989–2008 гг. и изменение их частей в сравнении с 1951–1988 гг.

Подземное питание	Ландшафтно-гидрологические провинции		
	Припятская	Деснянская	Бугско-Днестровская
Полное питание	45,7	55,8	75,2
Постоянное питание	21,9	38,0	43,7
Внутриводосборное питание	23,8	17,8	31,5
Изменения полного питания	+ 6,8	+ 9,4	+ 11,3
Изменения постоянного питания	+ 7,4	+ 11,0	+ 11,9
Изменения внутриводосборного питания	- 0,6	- 1,6	- 0,6

На территории Украинского Полесья наибольшая часть постоянного подземного питания наблюдается в его юго-западной и восточной части (43,7 и 38,0 %). Это связано с тем, что реки здесь дренируют водоносный горизонт в меловых отложениях и горизонт бучацко-каневских песков, который расположен выше. Соответственно в этих районах наблюдается наибольший рост части постоянного питания. Рост долей полного и постоянного питания в пределах ЛГП Украинского Полесья является практически пропорциональным. Рост подземной составляющей стока рек происходит за счет увеличения части постоянного земного питания, что объясняется поднятием уровней подземных вод, которое началось из середины 90-х годов XX века [26, 27]. Подтверждением является уменьшение на территории Украинского Полесья части внутриводосборного питания, которое наибольшее в Деснянской ЛГП (–1,6 %).

Изменения составляющих водно-теплового баланса, которые происходят, вызывают выравнивание внутриводосборного распределения стока Украинского Полесья. Характеристика внутриводосборного распределения проведена за период 1951–1988 гг. [18]. Для отмеченных ЛГП были оценены: внутриводосборное распределение стока рек (и его изменения) по фазам водного режима; сроки гидрологических сезонов (и их изменения); распределение стока рек (и их изменения) по гидрологическим сезонам, изменения средних месячных и годовых расходов воды; сроки лимитирующих часовых интервалов (и их изменения) для водохозяйственных расчетов (табл. 7.19).

Таблица 7.19

Внутриводосборное распределение стока рек по фазам водного режима и гидрологическими сезонами в % от объема годового стока за период 1989–2008 гг. и их изменения в сравнении с 1951–1988 гг.

Фазы водного режима и гидрологические сезоны	Ландшафтно-гидрологические провинции		
	Припятская	Деснянская	Бугско-Днестровская
Весеннее водополье	36/- 6	42/- 11	25/- 6
Летне-осенняя межень	38/+ 1	36/+ 5	50/+ 4
Зимняя межень	26/+ 5	22/+ 6	25/+ 2
Весенний сезон	44/- 6	43/- 14	33/- 5
Летний сезон	18/+ 2	16/+ 3	22/+ 1
Осенний сезон	13/- 1	18/+ 4	20/+ 2
Зимний сезон	25/+ 5	23/+ 7	25/+ 2

В современных условиях часть весеннего половодья во внутриводосборном распределении стока и величина ее сокращения растет с юго-запада к востоку от 25/-6 к 42/-11.

На сегодня для правобережной части Украинского Полесья весеннее половодье не может считаться самой многоводной фазой водного режима рек (36 и 25 %). Эта фаза остается наиболее многоводной в восточной части Украинского Полесья (42 %). Весеннее половодье обусловлено величиной снеготопления и потому наибольшее уменьшение его доли наблюдается на левобережной части Украинского Полесья (–11 %) [28, 29]. В целом величина сокращения части половодья растет с запада и северо-запада в восточном и юго-восточном направлении. Во внутриводосборном распределении наиболее многоводной фазой для правобережной части Украинского Полесья становится летне-осенняя межень (от 38 до 50 %). Часть этой фазы водного режима уменьшается в северо-восточном направлении. Но при этом также наблюдается самое существенное изменение части этой фазы за период

1989–2008 гг. в сравнении с 1951–1988 гг. Наибольшая часть объема годового стока, который приходится на зимнюю межень, наблюдается в Западном и Центральном Полесье (25–26 %), при этом она уменьшается с запада на восток (до 22 % в Восточном Полесье). Наибольшая часть зимней межени отмечается с юго-запада на северо-восток данной территории. При использовании поверхностных вод для водохозяйственных расчетов используют гидрологические сезоны. Их сроки определены по рекомендациям [25] и за период 1989–2008 гг. не изменились [20]. Весенний сезон в современных условиях принят в пределах март-май, летний сезон – июнь-август, осенний – сентябрь-ноябрь, зимний – декабрь-февраль. Сезонное распределение речного стока в пределах отдельных ЛГП, которые охватывают Украинское Полесье, и его изменения за два избранных периода приведены в таблице 2.19. Часть стока за весенний гидрологический сезон осталась наибольшей для всех рассмотренных ЛГП. Территориально часть стока за весенний сезон изменяется в широтном направлении, с юга на север. Для данной территории в целом уменьшение части этого сезона во внутригодовом распределении является наибольшим. На левобережном Полесье оно больше (–14 %), а на правобережном Полесье – меньше (–5–6 %). Уменьшение части весеннего гидрологического сезона привело практически к равномерному росту величины стока рек Украинского Полесья на протяжении других сезонов года. Наибольший рост (+2–7 %) наблюдается в зимний гидрологический сезон.

На реках Украинского Полесья проходят достаточно существенное внутригодовое перераспределение стока и изменения средних расходов воды за месяцы и год, которые обусловлены изменениями в характере питания рек. Отношение (в %) средних за месяцы и год расходов за период 1998–2008 гг. к аналогичным расходам воды за период 1951–1989 гг. приведено в таблице 7.19.

Для рек Украинского Полесья величина годового стока (табл. 7.20) практически не изменилась [30], от ее роста в Бугско-Днестровской ЛГП (+5 %) до уменьшения в Припятской ЛГП (–3 %). Средние месячные расходы выросли в Деснянской ЛГП для 11 месяцев (с 12), в Бугско-Днестровской для 10 и Припятской ЛГП для 6 месяцев. Больше всего выросли расходы меженных месяцев (за исключением Припятской ЛГП).

Таблица 7.20

Изменения (в %) средних за месяц и год расходов воды за периоды 1951–1988 гг. и 1989–2008 гг.

Месяцы	Ландшафтно-гидрологические провинции		
	Припятская	Деснянская	Бугско-Днестровская
01	37	46	26
02	41	56	13
03	-5	31	-21
04	-21	-41	-10
05	-4	15	10
06	23	42	5
07	-7	14	4
08	11	29	27
09	25	21	31
10	-6	39	16
11	-13	47	8
12	2	40	14
За год	-3	1	5

Для водохозяйственных расчетов необходимо знать часовые периоды лимитирующего периода, сезона и месяца. Для рек равнинной части Украины лимитирующий период включает все меженные гидрологические сезоны: зиму, лето, осень. Для рек Украинского Полесья сроки лимитирующего периода не изменились за 1989–2008 гг. в сравнении с 1951–1988 гг. и включают интервал времени с июня текущего года по февраль следующего года включительно. Для рек правобережной Украины лимитирующий сезон – осень, а для левобережной части – лето [8].

Сроки лимитирующих сезонов не изменились и в Припятской и Бугско-Днестровской ЛГП приходятся на сентябрь-ноябрь, а в Деснянской – на июнь-август. Сроки лимитирующих месяцев изменились на правобережной части Украинского Полесья с октября по сентябрь. В Деснянской ЛГП лимитирующий месяц остался неизменным – август.

Характеристики весеннего половодья существенно изменились на территории Украинского Полесья за период 1989–2008 гг. по сравнению с 1951–1988 гг. Изменились сроки его начала, максимальные расходы и форма гидрографа весеннего водополья. Начало весеннего половодья на конец XX – начало XXI века сместились на более ранние сроки приблизительно на две недели [8]. Поме-

сячное распределение сроков прохождения максимумов весеннего половодья свидетельствует о том, что на данной территории происходит смещение весенних максимумов на более ранние сроки. Это связано с ростом средних месячных температур воздуха за январь – март. Так, в Деснянской ЛГП раньше подавляющая часть весенних максимумов была в апреле (52 %), и в современных условиях эта часть приходится на март (55 %). Существенные изменения весенних максимумов состоялись в правобережной части Полесья [25]. В пределах Припятской ЛГП при сокращении части прохождения максимумов половодья в апреле состоялся рост части, которая приходится на февраль. В пределах Бугско-Днестровской ЛГП при сокращении части апреля выросла часть марта.

Таким образом, на сегодня часть прохождения максимумов весеннего половодья в феврале, марте и апреле соответственно составляет: Припятская ЛГП (20, 60 и 20 %); Деснянская ЛГП (10, 55 и 35 %); Бугско-Днестровская ЛГП (19, 63 и 18 %). За период 1951–1988 гг. эти части соответственно составляли: 9, 57 и 20 %; 9, 39 и 52 %; 21, 53 и 26 %. Как видим, наблюдается выравнивание сроков прохождения максимумов весеннего половодья. В современный период приблизительно 3/5 весенних максимумов приходится на март, а по 1/3 – на февраль и апрель [28]. На территории Украинского Полесья существенно уменьшились величины максимальных расходов весеннего половодья. Для Бугско-Днестровской ЛГП такое уменьшение за период 1989–2008 гг. составляет 0,57, для Припятской ЛГП – 0,52, для Деснянской ЛГП – 0,41. Наибольшее уменьшение наблюдается на правобережном Полесье. Анализ типичных гидрографов весеннего половодья, которые были построены для р. Припять – с. Речица и р. Десна – г. Чернигов (они отличаются незначительной степенью зарегулирования стока) за два характерных периода – до 1989 г. и после, показывают распластывание половодья со смещением его начала на более ранние сроки и уменьшения его усредненного максимума [8]. Подобные изменения характера гидрографа половодья свойственны также сильно зарегулированным рекам.

На характеристики дождевых паводков в Украинском Полесье существенно повлияли климатические изменения. Стали другими сроки прохождения паводков и величины максимальных расходов. Для Украины в целом за теплый период года (май – октябрь) выпадает почти 87 % очень сильных дождей. Распределение максимумов дождевых паводков теплого периода года по сезонам и по двум характерным периодам (1951–1988 гг. и 1989–2008 гг.) показывает, что происходит смещение летних дождевых максимумов в наиболее ранние сроки [8] (табл. 7.21).

Таблица 7.21

Сезонное распределение (в %) дождевых максимумов за характерные периоды:
1951–1988 гг. (числитель); 1989–2008 гг. (знаменатель)

Ландшафтно-гидрологические провинции	Сезон		
	Весна	Лето	Осень
Припятская	36/41	46/46	18/13
Деснянская	19/56	49/10	32/34
Бугско-Днестровская	30/33	50/44	20/23

Наиболее существенны такие изменения для левобережной территории Полесья (Деснянская ЛГП). В целом для отмеченной территории сократилась часть летнего сезона и почти не изменилась часть осеннего сезона. При этом часть летнего сезона на правобережной части Украинского Полесья осталась наибольшей (44 и 46 %), а в Деснянской ЛГП наибольшая часть уже приходится на весну (56 %). Величины максимальных расходов паводков теплого периода года уменьшились. Территориально оно наиболее сильно проявляется на правобережном Полесье. Так, в Припятской ЛГП уменьшение этих расходов составляет 0,73, в Бугско-Днестровской ЛГП – 0,85, а в Деснянской ЛГП – 0,94 в сравнении с периодом 1951–1988 гг.

Для водосборов рек свыше 1000–1500 км² для территории Украинского Полесья максимальные расходы дождевых паводков меньше, чем максимальные расходы весеннего половодья. Для всех рассмотренных ЛГП максимумы холодного периода больше, чем максимумы теплого периода. За период до 1989 г. это соотношение составляло: для Припятской ЛГП – 2,60; для Деснянской ЛГП – 7,32; для Бугско-Днестровской ЛГП – 2,25. За период после 1989 г. оно соответственно равнялось: 1,88; 3,04; 1,42. В пределах территории Украинского Полесья наблюдается тенденция к уменьшению величины соотношения, что обусловлено выравниванием внутригодового распределения стока и соответствующим уменьшением амплитуды колебаний расходов воды. Уменьшение максимумов холодного периода более существенно на фоне одновременного уменьшения максимумов теплого периода года, особенно это проявляется в Деснянской ЛГП. Также произошло изменение сезонного распределения прохождения максимальных годовых расходов воды на реках Украинского Полесья (табл. 7.22).

Распределение максимальных расходов воды за год (в %) по сезонам года за 1951-1988 гг. (числитель) и за 1989-2008 гг. (знаменатель)

Ландшафтно-гидрологические провинции	Сезон года			
	Весна	Лето	Осень	Зима
Припятская	82/54	3/19	2/2	13/25
Деснянская	94/93	1/1	0/0	5/6
Бугско-Днестровская	75/50	8/20	4/9	14/21

Отмеченные изменения части того или другого сезона не превышают 2 % на левобережной части Полесья и четко проявляются на реках правобережной части (здесь по весне в предыдущий период формировалось 75–82 % случаев годовых максимумов расходов). В современный период – только 50–54 %. В пределах Припятской и Бугско-Днестровской ЛГП сокращение части весеннего сезона привело к равномерному росту частей летнего и зимнего сезонов.

Изменения минимального стока на территории Полесья охарактеризованы изменениями минимальных средних за месяц расходов воды летне-осенней и зимней межени, сроков их наступления, минимальных годовых расходов воды, изменениями в сезонном распределении годовых минимумов. Для этого отмеченные показатели минимального стока были оценены за два характерных периода, а именно – 1951–1988 гг. и 1989–2008 гг. [8]. Минимальные средние за месяц расходы зимней межени выросли на всей территории Украинского Полесья. Наибольший рост наблюдается на левобережной части Полесья, для Деснянской ЛГП оно составляет 48 %. На правобережье Полесья рост оказался значительно меньшим. Для Припятской и Бугско-Днестровской ЛГП он был равен соответственно 18 и 21 %. На территории Украинского Полесья изменились сроки наступления средних за месяц минимальных расходов зимней межени. Если в первый период они приходились на январь (иногда февраль), то за второй период сроки переместились на декабрь. Минимальные среднемесячные расходы летне-осенней межени выросли на территории Украинского Полесья более равномерно. Так, для Деснянской ЛГП этот рост составлял за второй период 23 %, для Припятской ЛГП – 21 %, Бугско-Днестровской ЛГП – 24 %. На протяжении второго периода состоялись изменения наиболее вероятного срока прохождения отмеченным минимальным расходом. В Припятской и Бугско-Днестровской ЛГП сроки изменились с сентября на октябрь, а Деснянской ЛГП – с июля на август. Очень существенно на данной территории увеличились минимальные годовые расходы воды. На правобережье Полесья они составили: для Бугско-Днестровской ЛГП – 48 %, для Припятской ЛГП – 47 %. На левобережье Полесья, в Деснянской ЛГП рост отмеченных расходов равнялся 43 %. Данные о сезонном перераспределении годовых минимальных расходов приведены в таблице 7.23.

Таблица 7.23

Сезонное распределение (в %) минимальных годовых расходов за характерные периоды: 1951-1988 гг. (числитель) и 1989-2008 гг. (знаменатель)

Ландшафтно-гидрологические провинции	Сезон года			
	Весна	Лето	Осень	Зима
Припятская	7/6	26/57	36/33	31/4
Деснянская	12/8	44/54	22/33	22/5
Бугско-Днестровская	4/5	28/58	25/26	43/11

На реках Украинского Полесья вероятность формирования минимального годового расхода в зимний сезон существенно уменьшилась (до 4–11 %). При этом выросла вероятность формирования годовых минимумов во время летней межени (54–58 %). На реках левобережья Украинского Полесья также стала большей вероятность появления этих минимальных расходов осенью (33 %).

Важной составляющей расходов воды на реках Украинского Полесья являются *экологически допустимые расходы воды (ЭДРВ)*. Детальная оценка их количественных характеристик для бассейна рек Припятского Полесья Украины за период наблюдений к началу 2000-х годов XXI века была проведена в НУВХП на кафедре водохозяйственной экологии, гидрологии и гидравлики [5, 31]. Необходимо отметить, что водные экосистемы под воздействием антропогенной нагрузки испытали существенные изменения: значительные превращения водосборной площади, большая зарегулированность стока прудами и водохранилищами, высокие темпы освоения водных ресурсов и безвозвратные их расходы нарушили условия формирования водного режима рек, а постоянное поступление сточных вод уменьшило их способность к самоочищению. Истощение и загрязнение рек может нарушить естественные биологические и физико-химические процессы их воспроизведения, привести к полной деградации водных объектов и сделать невозможным любое их использование, прежде

всего для хозяйственно-питьевых, а также рыбохозяйственных и коммунально-бытовых потребностей. Также определение экологически допустимых минимальных расходов воды (ЭДМРВ) представляет значительный интерес при проектировании промышленного и бытового водоснабжения, орошения сельскохозяйственных угодий, для потребностей судоходства, энергетического использования рек, потому что они лимитируют не только размеры сооружений, которые проектируются, но и саму возможность их расположения в данном месте. Ниже приведена короткая характеристика определения ЭДМР воды на реках.

Под понятием *экологически допустимые расходы воды* необходимо понимать такие расходы, которые должны сохраняться в реке при любых видах хозяйственной деятельности и обеспечивать процессы руслоформирования, сток зависших и подвижных наносов, воспроизведение биологических ресурсов, удовлетворительное санитарное состояние и самоочищение реки. Соответственно *экологически допустимые минимальные расходы воды* являются нижним пределом расходов воды, который определяет условия существования организмов, то есть является лимитирующим фактором функционирования речной системы. ЭДМР воды на реках Припятского Полесья были определены по эколого-гидрологической модели, по которой не подрывается способность речных экосистем к самовосстановлению. Эта модель расчета экологически допустимых минимальных расходов воды в реках и объемов отбора стока из них построена по экосистемному принципу. Необходимая объективность расчетов достигается широким набором показателей и их критериальных значений, которые отображают способность речной экосистемы к самовосстановлению.

К основным факторам были отнесены: возможность руслоформирования во время половодья и передвижение почвы по дну в меженьный период; затопление заводей весной, которое обеспечивает миграцию рыбы на нерест, влагонакопление почв прирусловой территории и гнездование водоплавающей птицы; создание благоприятного водного режима для того, чтобы не происходило заиления и зарастания водотока; создание благоприятного водного режима для развития ценных для экосистемы видов гидробиоценоза и обеспечения кормовой базы гидробионтов. Каждой фазе гидрологического режима присущи соответствующие ЭДМР воды, поэтому фазы гидрологического режима были разделены на месяцы (можно брать для расчетов также сезоны, периоды). Часовой промежуток исследований состоял из двух периодов – от начала наблюдений на реках (гидропостах) до 1974 г. и от 1994 до 2004 г., что обусловлено естественным статусом рек, который свойствен им при условии отсутствия или незначительного влияния человеческой деятельности, то есть наиболее приближен к естественному экологическому состоянию.

Экологический сток рек охарактеризован такими показателями: ЭДМР воды ($\text{м}^3/\text{с}$), модулем экологически допустимого минимального стока ($\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$), экологически допустимым объемом отбора воды (млн м^3). Анализ результатов определения ЭДМР воды показал, что наибольшие показатели (табл. 7.24) наблюдаются на средних рр. Припять, Случ, Уборть, а наименьшие – на малых рр. Турья, Стоход, Вырка, Смолка. Кроме того, в первый период исследования установленные ЭДМР на реках были меньше, чем во второй. Поэтому дальнейшие исследования проводились на основе обусловленных ЭДМР воды, которые установлены в первом периоде и являются наименьшими. Для сравнения установленных ЭДМР воды на реках Припятского Полесья был определен модуль экологически допустимого минимального стока (табл. 7.24) [5].

Таблица 7.24

Среднегодовое ЭДМР воды и модули экологически допустимого минимального стока рек бассейна Припяти

Название реки, гидрологического поста	Площадь водосбора, км^2	Среднегодовое ЭДМР воды, $\text{м}^3/\text{с}$	Модуль экологически допустимого минимального стока ($M_{\text{эк.дон}}$), $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$
Припять – с. Речица	2210	5,88	2,66
Припять – с. Любязь	6100	9,45	1,55
Выжевка – с. Старая Выжевка	722	1,53	2,12
Турья – с. Ягодное	502	0,77	1,53
Турья – г. Ковель	1480	2,66	1,80
Стоход – с. Малиновка	692	0,72	1,04
Вырка – с. Сварыни	231	0,59	2,55
Случ – с. Громада	2480	5,26	2,12
Тня – с. Броники	982	1,26	1,28
Смолка – с. Суслы	632	0,99	1,57
Уборть – с. Рудня Ивановская	510	0,91	1,78
Уборть – с. Перга	2880	4,80	1,66
Уж – г. Коростень	1450	2,32	1,60

Анализ таблицы 7.24 показывает, что экологически допустимый минимальный модуль стока на исследуемой территории изменяется от свыше 2,5 л/(с·км²) на (рр. Припять около с. Речица и Вырка около с. Сварыни), до свыше 2,0 л/(с·км²) (рр. Выжевка, Случь), а также до 2,0 л/(с·км²) (рр. Турья, Смолка, Уборть, Уж) и до 1,50 л/(с·км²) (рр. Стоход, Тня). Такое распределение экологически допустимого минимального модуля стока объясняется влиянием установленными экологически допустимыми минимальными расходами воды, площадью водосбора, глубиной вреза русла; в частности, переходом от интенсивно заболоченных долинных геоморфологических уровней (заводь, свержпойменные террасы) к низким и часто также заболоченным водоразделам – рр. Выжевка, Турья, Припять, Стоход, Вырка. Речной сток здесь формируется под значительным влиянием верхнемеловых горизонтов. Наклон русел рек незначителен, реки имеют медленное течение. К Украинскому щиту и Приднепровской возвышенности относятся рр. Уборть, Уж, Смолка, Тня, Случь. Эта часть Полесья есть наиболее высоко поднята, лучше дренируема, менее заболочена и более глубоко расчленена. Значительно распространены сланцы кристаллических пород, которые выступают на рельефе в виде холмов разного размера и формы. Реки имеют большой наклон, русла их глубоко врезаны.

По установленным ЭДМР воды на реках был определен экологически допустимый объем отбора воды, который позволяет осуществлять забор воды из рек на разные хозяйственные потребности, без вреда для водной экосистемы. Важно отметить то, что нормативы экологически допустимого безвозвратного отбора поверхностного стока устанавливаются в виде постоянных величин в разные сезоны года для лет с разной водностью и не должны приводить к изменениям характеристик водного объекта, значительно выходя за пределы естественных сезонных многолетних колебаний. Лишь в очень маловодные годы (близкие к 90–95 % обеспеченности) характеристики, которые обеспечивают воспроизведение биоресурсов водных экосистем, достигают критических значений. Данные об объемах экологического стока ($W_{э\kappa}$) и объемах стока рек в годы разной обеспеченности приведены в таблице 7.25.

Таблица 7.25

Объемы экологического стока ($W_{э\kappa}$) и объемы стока рек в годы разной обеспеченности

Название реки, гидрологического поста	Показатель	$W_{э\kappa}$, млн м ³	$W_{см.р.}$, млн м ³	$W_{э\kappa}/W_{см.р.}$, %
1	2	3	4	5
Припять – с. Речица	1	185,5		
	2		258,6	71,7
	3		191,4	96,9
	4		98,4	< $W_{э\kappa}$
Припять – с. Любязь	1	298,0		
	2		389,8	76,4
	3		304,7	97,8
	4		120,8	< $W_{э\kappa}$
Выжевка – с. Старая Выжевка	1	48,2		
	2		83,0	58,1
	3		52,0	92,7
	4		28,0	< $W_{э\kappa}$
Турья – с. Ягодное	1	24,3		
	2		47,0	51,7
	3		29,0	83,8
	4		17,0	< $W_{э\kappa}$
Турья – г. Ковель	1	83,8		
	2		137,0	61,2
	3		89,0	94,2
	4		55,0	< $W_{э\kappa}$
Стоход – с. Малиновка	1	22,7		
	2		58,0	39,1
	3		37,0	61,3
	4		20,0	< $W_{э\kappa}$
Вырка – с. Сварыни	1	18,6		
	2		25,0	74,4
	3		19,0	97,9
	4		11,7	< $W_{э\kappa}$
Случь – с. Громада	1	185,5		
	2		258,6	71,7
	3		191,4	96,9
	4		98,4	< $W_{э\kappa}$
Тня – с. Броники	1	298,0		

Продолжение таблицы 7.25

1	2	4	4	5
	2		389,8	76,4
	3		304,7	97,8
	4		120,8	<W _{ЭК}
Смолка – с. Суслы	1	48,2		
	2		83,0	58,1
	3		52,0	92,7
	4		28,0	<W _{ЭК}
Уборть – с. Рудня Ивановская	1	24,3		
	2		47,0	51,7
	3		29,0	83,8
	4		17,0	<W _{ЭК}
Уборть – с. Перга	1	83,8		
	2		137,0	61,2
	3		89,0	94,2
	4		55,0	<W _{ЭК}
Уж – г. Коростень	1	22,7		
	2		58,0	39,1
	3		37,0	61,3
	4		20,0	<W _{ЭК}

Примечание: экологически допустимые объемы воды (1) и расчетные объемы воды в характерные по водности годы (2 – средние (P = 50 %), 3 – маловодные (P = 75 %), 4 – очень маловодные (P = 95 %)).

Анализ таблицы 7.25 показывает, что в очень маловодный год 95 % обеспеченности водные ресурсы не обеспечивают объемы экологического стока, а в маловодный год 75 % обеспеченности его водные ресурсы увеличивают экологический сток чаще всего на незначительную величину. Относительно месячных экологически допустимых минимальных расходов воды можно сказать, что в основном их величины превышают соответствующие среднемесячные расходы воды в год 95 % обеспеченности стока. Результаты исследования (табл. 7.25) отображают состояние обеспечения величин экологически допустимого минимального стока в реках Припятского Полесья водными ресурсами в разные по водности годы в целом за год. Объем экологического стока почти в половине исследуемых реках достигает 40 % нормы стока, а в других шести реках – 50–60 % нормы стока, за исключением р. Вырки вблизи с. Сварыни, где экологический сток составляет 74,4 % нормы стока (и почти 30 % стока зарегулировано). В частности, результаты такого определения для исследуемых рек Полесья показали, что по условиям сохранения функционирования речных экосистем как водных объектов живой природы от истощения и деградации допустимый объем отбора речного стока выше изученных гидростворов находится в пределах 25–48 %, кроме рек Стоход – с. Малиновка, Тня – с. Броники, Смолка – с. Суслы, Уборть – с. Перга, Уборть – с. Рудня Ивановская, в которых этот предел достигает 50–65 %. Следует заметить, что эта величина состоит не только из объемов безвозвратного водопотребления, в ней сосредоточены все расходы речного стока (выше гидростворов) в результате хозяйственной деятельности человека. А для рек Стоход, Тня, Уборть есть значительные резервы водоотдачи за счет руслового регулирования стока.

Экологически допустимые объемы отбора воды из рек за многолетний период в годы разной обеспеченности приведены в таблице 7.26.

Анализ таблицы 7.26 показывает, что потребность в водных ресурсах в очень маловодный год наибольшая в средних рр. Припять, Случь, Уборть, она составляет соответственно 177,2 %; 87,1 %; 53,8 %; 70,3 %, а наименьшая потребность – на рр. Турья, Стоход, Вырка соответственно 7,3 %; 2,7 %; 6,9 %. Также гидросты размещены в верховьях рек, где сток находится в естественном состоянии, потому экологически допустимые объемы отбора из рек являются несколько завышенными. Следовательно, можно сделать вывод о том, что для рек Припятского Полесья в очень маловодные годы необходимо производить поиск запасов водных ресурсов для водохозяйственных потребностей или не использовать реки в эти периоды вообще.

За помесечными экологически допустимыми объемами отбора воды из рек были построены картосхемы, с применением кластерного анализа, которые позволили осуществить районирование территории по прохождению ЭДМР воды в процентном отношении к среднему многолетнему расходу воды для всех месяцев. В целом, анализ помесечных картосхем подтверждает то, что наибольшие экологически допустимые объемы отбора воды из рек Припятского Полесья возможны в период ве-

сеннего водополья (III–IV месяцы), а наименьшие – в период летне-осенней межени. Это объясняется достаточным и избыточным увлажнением территории бассейнов рек, максимальным обеспечением речного стока во время водополья, увеличенным минимальным стоком в летне-осеннюю межень.

Таблица 7.26

**Экологически допустимый объем отбора воды из рек за многолетний период
в годы разной обеспеченности**

Название реки, гидрологического поста	Экологически допустимый объ- ем отбора воды, $W_{650\%} / W_{675\%}$, млн м ³	Экологически допустимый объем отбора воды, $W_{эк}$, млн м ³	Допустимый для отбора из реки, % от нормы стока	Потребность в водных ресурсах в очень маловод- ный год, млн м ³
Припять – с. Речица	73,1/5,9	185,5	28,3	87,1
Припять – с. Любязь	91,8/6,7	298	23,6	177,2
Выжевка – с. Старая Выжевка	34,8/3,8	48,2	41,9	20,2
Турья – с. Ягодное	22,7/4,7	24,3	48,3	7,3
Турья – г. Ковель	53,2/5,2	83,8	38,8	28,8
Стоход – с. Малиновка	35,3/14,3	22,7	60,9	2,7
Вырка – с. Сварыни	6,4/0,4	18,6	25,6	6,9
Случ – с. Громада	101,2/23,2	165,8	37,9	53,8
Тня – с. Броники	74,3/15,3	39,7	65,2	22,7
Смолка – с. Суслы	31,8/5,8	31,2	50,5	12,2
Уборть – с. Рудня Ивановская	30,3/1,3	28,7	51,4	18,7
Уборть – с. Перга	227,6/46,6	151,4	60,0	70,3
Уж – г. Коростень	66,9/6,9	73,1	47,8	35,1

Для рек Западного Полесья построены разностные интегральные кривые для средних годовых расходов, минимальных среднемесячных расходов летне-осенней межени, минимальных среднемесячных расходов зимней межени, для максимальных средних за месяц расходов весеннего половодья за период наблюдений на 1943–2010 гг. На кривых средних расходов за год выделяется 4 последовательных фазы уменьшения и роста водности. Кривые минимальных расходов имеют две такие последовательные фазы. На кривых максимальных расходов можно видеть три последовательных фазы (уменьшение, рост, уменьшение). Интегральные кривые для всех отмеченных расходов являются синфазными. Моменты перехода к разным фазам водности отличаются для рек верховья Припяти (Турья, Стоход, Выжевка) и южной части данной территории (Стырь, Горынь). Современный рост средних годовых, минимальных средних за месяц расходов летне-осенней и зимней межени для рек южной части данной территории начался с 1964–1970 гг. Момент такого роста для отмеченных расходов для рек верховья Припяти соответственно совпадают: с 1973 г., с 1971–1973 гг., с 1987 г. Для рек Западного Полесья момент современного уменьшения максимальных расходов совпадает с 1979–1983 гг.

Анализ данных наблюдений за расходами воды за период 1951–1988 гг. и 1989–2008 гг. выявил их неоднородность главным образом по непараметрическим критериям.

Уменьшилась часть снежного питания рек Украинского Полесья. Оно уже не представляет подавляющую часть годового стока. Растет часть подземного питания. Его доля почти уравнилась с долей снежного питания. В районах распространения карстовых пород часть подземного питания стала преобладающей.

Состоялось выравнивание внутригодового распределения стока. Весеннее половодье практически уже не самая многоводная фаза водного режима. Наиболее многоводной фазой становится летне-осенняя межень. Средние годовые расходы изменились незначительно. Сроки лимитирующих периодов и сезонов не изменились. Сроки лимитирующих месяцев изменились только на правобережье Полесья.

Существенно уменьшились величины максимальных расходов весеннего половодья. Наблюдается смещение весенних максимумов на более ранние сроки. Происходит распластывание волны весеннего водополья. Уменьшение величин максимальных расходов дождевых паводков оказалось менее существенным. Соотношение между максимумами холодного и теплого периодов года уменьшилось, но не изменилось на противоположное.

Минимальные средние за месяц расходы воды выросли на всей территории Украинского Полесья и особенно на востоке. Наиболее существенно растут минимальные средние месячные расходы воды за период летне-осенней межени. Наблюдается существенный рост минимальных годовых рас-

ходов воды. Сезонное распределение годовых минимумов наиболее изменилось на правобережье Украинского Полесья. Уменьшилась вероятность формирования годовых минимумов зимой и выросла эта вероятность летом.

На реках Припятского Полесья в очень маловодный год 95 % обеспеченности водные ресурсы не обеспечивают объемы экологического стока, а в маловодный год 75 % обеспеченности его водные ресурсы увеличивают экологический сток чаще всего на незначительную величину. Величины месячных экологически допустимых минимальных расходов воды в основном превышают соответствующие среднемесячные расходы воды в год 95 % обеспеченности стока. Для рек Припятского Полесья в очень маловодные годы необходимо производить поиск запасов водных ресурсов для водохозяйственных потребностей или не использовать реки в эти периоды вообще.

Экологически допустимые объемы отбора состоят не только из объемов безвозвратного водопотребления, в них сосредоточены все расходы речного стока (выше гидростворов) в результате хозяйственной деятельности человека.

Наибольшие экологически допустимые объемы отбора воды из рек Припятского Полесья возможны в период весеннего половодья (III–IV месяцы), а наименьшие – в период летне-осенней межени.

Наибольшую водность на данной территории имеют рр. Десна, Горынь, Стырь, Случь. Приблизительно 80 % общего стока Украинской части бассейна Припяти составляют суммарные расходы рр. Стырь, Горынь и Случь. Коэффициенты вариации годового стока в Украинском Полесье изменяются от 0,24 до 0,72. Наибольший диапазон коэффициентов вариации характерен для правобережной части Украинского Полесья (0,24–0,72). В левобережной части Украинского Полесья они изменяются от 0,4 до 0,6. Ряды наблюдений среднегодовых расходов воды имеют положительную асимметрию, и поэтому коэффициенты асимметрии изменяются для рек Украинского Полесья в диапазоне от 0,55 до 2,0. По картам на начало XXI века средние многолетние модули стока для территории Украинского Полесья изменяются от 4,5 до 2,0 л/(с·км²). Объем стока рек Украинского Полесья от нормы годового стока в маловодные и очень маловодные годы для средних рек составляет соответственно 73–82 и 44–61 %, а для малых рек – 28–63 и 15–30 %. Внутригодовое распределение стока по фазам водного режима отличается на правой и левобережной территории Украинского Полесья. Для правобережья за весеннее половодье проходит 31–42 % объема годового стока, за летне-осеннюю межень – 37–46 %, за зимнюю межень – 21–23 %. В то же время для левобережья отмеченное распределение составляет 53, 31 и 16 %.

Для правобережной части Украинского Полесья помесечное распределение сроков прохождения весеннего половодья отличается от левобережной части. Для Припятской и Бугско-Днестровской ЛГП наибольшая повторяемость прохождения максимумов приходится на март, соответственно 57 и 53 %. В апреле она составляет 34 и 26 %, а в феврале – 9 и 21 %. Для Деснянской ЛГП наибольшая повторяемость прохождения максимумов приходилась на апрель 52 %, далее на март – 32 % и на февраль – 9 %. Коэффициенты вариации средних многолетних максимальных расходов весеннего половодья в целом для Украинского Полесья находятся в пределах 0,49–1,17. В среднем они больше, чем значение C_v в правобережной части Полесья. Средние многолетние величины стока весеннего половодья на правобережье Украинского Полесья колеблются от 40 до 80 мм при общем росте с юго-запада на северо-восток; на левобережье в верховьях Десны они составляют 100–120 мм; в бассейне Сейма – 70–80 мм; на заболоченных реках (Остер, Трубеж) – 20–30 мм. Максимальные модули стока воды во время весеннего половодья на реках правобережной части Украинского Полесья изменяются в пределах от 0,2 до 0,35 м³/(с·км²), а на левобережной части – от 0,2 до свыше 0,3 м³/(с·км²). Таким образом, на территории Украинского Полесья наиболее часто дождевые максимумы наблюдаются в летний сезон. Для правобережной части это 46–50 %, а для левобережной соответственно 49 %.

Величины наименьших среднемесячных летних расходов закономерно снижаются на территории Украинского Полесья с юго-запада и севера на юг и юго-восток, подчиняясь на больших и средних реках общему зональному изменению климатических условий. Однако на малых реках сохраняется внутризональный характер изменений, который зависит от местных гидрогеологических особенностей – наличия и мощности горизонтов подземных вод, характера дренирования их речными долинами и условий их разгрузки. На правобережной части Украинского Полесья минимальные среднемесячные расходы фиксировались преимущественно в январе-феврале. На левобережной части Украинского Полесья минимальные среднемесячные расходы преимущественно приходятся на январь. Минимальные расходы за год фиксируются на протяжении лета и осени, для рек правобережной части Украинского Полесья они наблюдаются от 53 до 62 % случаев, а для рек левобережного Полесья – 66 %. Для этих же территорий вероятность формирования годовых минимумов в зимний период составляет от 43–31 % до 22 %.

Для рек Западного Полесья построены разностные интегральные кривые для средних годовых расходов, минимальных среднемесячных расходов летне-осенней межени, минимальных среднемесячных расходов зимней межени, максимальных средних за месяц расходов весеннего половодья за период наблюдений в 1943–2010 гг. На кривых средних расходов за год выделяется 4 последовательных фазы уменьшения и роста водности. Кривые минимальных расходов имеют две такие последовательные фазы. На кривых максимальных расходов можно видеть три последовательных фазы (уменьшение, рост, уменьшение). Интегральные кривые для всех отмеченных расходов являются синфазными. Моменты перехода к разным фазам водности отличаются для рек верховья Припяти (Турья, Стоход, Выжевка) и южной части данной территории (Стырь, Горынь). Современный рост средних годовых, минимальных средних за месяц расходов летне-осенней и зимней межени для рек южной части данной территории начался с 1964–1970 гг. Момент такого роста для отмеченных расходов для рек верховья Припяти соответственно совпадает: с 1973 г., с 1971–1973 гг., с 1987 г. Для рек Западного Полесья момент современного уменьшения максимальных расходов совпадает с 1979–1983 гг. Анализ данных наблюдений за расходами воды за период 1951–1988 гг. и 1989–2008 гг. выявил их неоднородность главным образом по непараметрическим критериям.

Существенно уменьшились величины максимальных расходов весеннего половодья. Наблюдается смещение весенних максимумов на более ранние сроки. Происходит распластывание волны весеннего водополья. Уменьшение величин максимальных расходов дождевых паводков оказалось менее существенным. Соотношение между максимумами холодного и теплого периодов года уменьшилось, но не изменилось на противоположное. Минимальные средние за месяц расходы воды выросли на всей территории Украинского Полесья и особенно на востоке. Наиболее существенно растут минимальные средние месячные расходы воды за период летне-осенней межени. Наблюдается существенный рост минимальных годовых расходов воды. Сезонное распределение годовых минимумов более всего изменилось на правобережье Украинского Полесья. Уменьшилась вероятность формирования годовых минимумов зимой и выросла эта вероятность летом.

На реках Припятского Полесья в очень маловодный год 95 % обеспеченности водные ресурсы не обеспечивают объемы экологического стока, а в маловодный год 75 % обеспеченности его водные ресурсы увеличивают экологический сток, как правило, на незначительную величину. Относительно месячных экологически допустимых минимальных расходов воды можно отметить, что в основном их величины превышают соответствующие среднемесячные расходы воды в год 95 % обеспеченности стока. Для рек Припятского Полесья в очень маловодные годы надо вести поиск запасов водных ресурсов для водохозяйственных потребностей или не использовать реки в эти периоды вообще.

Экологически допустимые объемы отбора состоят не только из объемов безвозвратного водопотребления, в них сосредоточены все расходы речного стока (выше гидростворов) в результате хозяйственной деятельности человека.

Наибольшие экологически допустимые объемы отбора воды из рек Припятского Полесья возможны в период весеннего водополья (III–IV месяцы), а наименьшие – в период летне-осенней межени.

Литература

1. Малі річки України : довідник / за ред. А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Богатов [та ін.]. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.
2. Справочник по водным ресурсам / под ред. Б. И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.
3. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / под общ. ред. М. Ю. Калинина и А. Г. Ободовского – Минск: БЕЛСЭНС, 2003. – 269 с.
4. Національний атлас України. – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
5. Холоденко В. С. Встановлення екологічно допустимого об'єму відбору води з річок (на прикладі Прип'ятського Полісся України) : дис. ... канд. геогр. н.: гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія / наук. кер. А. В. Яцик ; ДВНЗ «Київський нац. ун-т імені Тараса Шевченка». – Київ, 2010. – 225 с.
6. Яцык А. В. Экологические основы рационального водопользования. – К.: Генеза, 1997. – 628 с.
7. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яцика, В. М. Хорева. – К.: Генеза, 2000. – 456 с.
8. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок (ландшафтно-гідрологічний аналіз). – К.: Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
9. Железняк И. А., Подольская И. Я. Внутригодовое распределение стока малых рек Украины и Молдавии // Тр. УкрНИГМИ. – 1982. – Вып. 190. – С. 91–102.
10. Аналіз водного режиму річок басейну р. Десна приграничних областей / Я. І. Лепіх [та ін.] // Зб. наук. праць. Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – 2014. – № 1104. – Серія «Екологія». – Вип. 10. – 2014. – С. 94–98.
11. Будз О. П. Розрахунок максимальних витрат весняної повені правобережних приток р. Прип'яті : дис. канд. техн. наук : гідраліка та інженерна гідрологія / наук. кер. М. В. Корбутяк ; ДВНЗ «УДАВГ». – Рівне, 2000. – 142 с.

12. Чорноморець Ю. О., Фріндт К. Т. Багаторічна динаміка термінів проходження весняного водопілля на річках басейну Десни // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. – 2010. – Т.2 (19). – С. 94–105.
13. Каталог весняних водопіль в басейні річки Десна / Л. О. Горбачова, О. В. Колянчук // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 261. – С. 179–191.
14. СНиП 2.01.14-83. Определение гидрологических характеристик / Госстрой СССР. – Введ. 01.07.1984.
15. Владимирев А. М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 366 с.
16. Гребінь В. В. Дослідження гранулометричного складу завислих і донних наносів р. Рось // Вісник КУ. Географія. – 2000. – Вип. 46. – С. 34–36.
17. Галущенко М. Г., Ромась І. М. Умови формування та розрахунки мінімального стоку річок басейну Дніпра (в межах України) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: Ніка-Центр, 2001. – Т. 2. – С. 289–295.
18. Клименко В. Г. Гідрологія України : навч. посібник для студентів-географів. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2010. – 124 с.
19. Географічна енциклопедія України : в 3 т. / ред. кол. О. М. Маринич [та ін.]. – К.: Українська Радянська Енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1990. – Т. 2.: 3–О. – 480 с.
20. Галік О. І., Яковичина М. С. Однорідність рядів спостережень річного стоку у зв'язку зі змінами клімату на прикладі річок Поліської області надмірної водності // Збірник наук. праць V Всеукраїнської наук. конференції (Чернівці, 22–24 вересня 2011 р.). – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2011. – С. 26–28.
21. Галік О. І., Яковичина М. С. Аналіз однорідності рядів річного стоку у зв'язку із змінами клімату на прикладі річок Поліської та Західної гідрологічних областей України // Географія та туризм. – Вип. 18. – Київ, 2012.
22. Галік О. І., Яковичина М. С., Маринич А. І. Оцінка однорідності річного стоку із урахуванням регіональних кліматичних змін // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 52–55.
23. Галік О. І., Будз О. П., Бебко З. З. Коливання та зміни мінімального стоку у верхів'ї р. Горинь // Науч. журнал «Геополитика и экогеодинамика регионов». – Т. 10. – Вип. 1. – 2014. – С. 430–437.
24. Гребінь В. В., Ободовський О. Г. Закономірності внутрірічного розподілу стоку та особливості живлення річок басейну Верхньої Прип'яті // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. – К.: ВГА «Обрії», 2003. – Т. 5. – С. 119–128.
25. Чорноморець Ю. О., Гребінь В. В. Багаторічна динаміка режиму живлення річки Десна // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. – К.: КНУ ім. Тараса Шевченка. – 2010. – Т. 3 (20). – С. 59–67.
26. Гребінь В. В., Ободовський О. Г., Царик М. О. Особливості багаторічних коливань стоку річок басейну Прип'яті (в межах України) // Картографія та вища школа. – К.: Держ. карт. Фабрика, 2003. – Вип. 8. – С. 98–103.
27. Струтинська В. М., Гребінь В. В. Зміна термічного режиму річок басейну Дніпра на фоні глобального потепління клімату // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2007. – № 12. – С. 105–114.
28. Гребінь В. В. Оцінка режиму наносів річок басейну Дніпра (в межах України) // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. – К.: Ніка – Центр, 2000. – Т. 1. – С. 135–137.
29. Гребінь В. В. Сучасні зміни стоку річок Прип'ятського Полісся // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: ВГЛ «Обрії», 2004. – Т. 6. – С. 74–85.
30. Ободовський О. Г., Гребінь В. В. Організація моніторингу гідрологічного режиму руслових процесів Дніпра районі Канівського заповідника // Заповідна справа в Україні – 2001. – Т. 7. – Вип. 1. – С. 59–65.
31. Методика визначення екологічно допустимих рівнів відбору води з річок з метою збереження сталого функціонування їх екосистем / А. В. Яцик [та ін.] ; під наук. кер. А. В. Яцика, друк. в автор. ред. – К. : Оріяни, 2002. – 48 с.

Глава 8. СТОК РЕК ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

8.1. Средний многолетний речной сток

Западное Полесье Украины расположено в ее северо-западной части в пределах Волынской и Ровенской областей. Условно, учитывая общность геологической истории, бассейновой принадлежности, в описываемый регион нами включается собственно Волынское Полесье, Волынская возвышенность и прилегающие территории Малого Полесья.

Характерной чертой ландшафта региона является широкое распространение болот, заболоченных и переувлажненных пространств, образование которых предопределено как наличием избыточной влаги (климатические, гидрологические и гидрогеологические особенности), так и геолого-геоморфологическими условиями, которые определяют широкое распространение отрицательных форм поверхности, малых уклонов и т. д. Общая площадь мелиоративного фонда здесь оценивается в 1134,5 тыс. га, что составляет в среднем 35,5 % территории [3].

Основным источником водных ресурсов Западного Полесья являются правые притоки Припяти. По материалам многолетних наблюдений государственной гидрометрической сети нами составлена карта среднего годового стока, которая совмещена с схемой физико-географического районирования (рис. 8.1). Рассматриваемую территорию охватывают две физико-географических зоны: смешанных лесов (I, II) и лесостепная зона (III, IV, V).

Анализ карты показывает, что среднегодовые модули стока по территории изменяются от 3,0 до 5,5 л/с км².

К первой зоне относятся область Волынского Полесья (I), которая включает: Верхнеприпятский, Стырь-Горынский, Ковельский, Маневицкий, Рафаловско-Владимирецкий, Бережнице-Стольнский, Турийский, Цуманский (Киверцовский), Костопольский, Сарненский (Плав-Горынский) и область Житомирского Полесья (II), в том числе Рокитновский и Городницкий районы.

Во вторую зону входят область Волынской возвышенности (III) (Надбугский, Луцко-Ровенский, Гошанский и Мизоч-Повчанский районы), а также область Малого Полесья (IV), включающая Ратинский, Бродовский, Икво-Вилийский (Острожский), Грядовое Побужье и область Подольской возвышенности (V).

Наименьшие величины (3,0–3,5 л/с км²) характерны для Турийского и Киверцовского физико-географических районов в верховьях рек Турья и Стоход.

Наибольшие значения модулей (5,0–5,5 л/с км²) имеются в пределах физико-географической области Малого Полесья (верхние течения рек Рата, Буг, Стыр, Иква, Вилия).

Значения среднемноголетнего поверхностного и подземного стока основных рек Западного Полесья в пунктах наблюдения приведены в таблице 8.1.

Существует две гипотезы относительно изменений водного баланса мелиорируемых территорий. Согласно первой суммарное испарение (вместе с транспирацией) из осушительных площадей увеличивается в результате улучшения условий роста и развития растений. При этом инфильтрация и поверхностный сток уменьшаются. Согласно второй – со снижением уровня грунтовых вод испарение уменьшается, инфильтрация атмосферных осадков на зеркало грунтовых вод увеличивается в несколько раз. Первая гипотеза справедлива только для торфяников и территорий с их подавляющим распространением, вторая – для минеральных почв. В связи с этим неоднозначны и экологические последствия осушительных мелиораций. На одних реках наблюдается снижение водности, на других – существенное увеличение.

Проблема влияния осушительных мелиораций на сток рек в условиях интенсивного сельскохозяйственного освоения водосборов привлекает внимание многих ученых. Вместе с тем однозначного ответа на вопрос о влиянии осушения на сток нет.

Годовой сток, а также сток весенних половодий и дождевых паводков, которые являются расчетными при проектировании мелиоративных систем в зоне осушения, могут изменяться как в сторону уменьшения расходов воды, так и в сторону их увеличения. Обязательному уменьшению стока способствуют: увеличение испарения на мелиорируемых площадях, образование зоны аэрации, сооружение водосодержащих водоемов. Увеличению значения максимального стока при осушении способствуют канализированность водосбора и водоотведение от замкнутых понижений.

Анализ результатов многолетних наблюдений на реках Припятского Полесья Украины дал возможность определить повторяемость коэффициентов изменения стока в связи с масштабными мелиоративными работами. Значительная часть зафиксированных изменений стока (48 %) находится в пределах точности измерений (± 10 %). Привлекает внимание неоднозначность влияния осушения на минимальный сток – в одних случаях снижение до 30 %, в других – увеличение более чем на 200 %.

Таблица 8.1

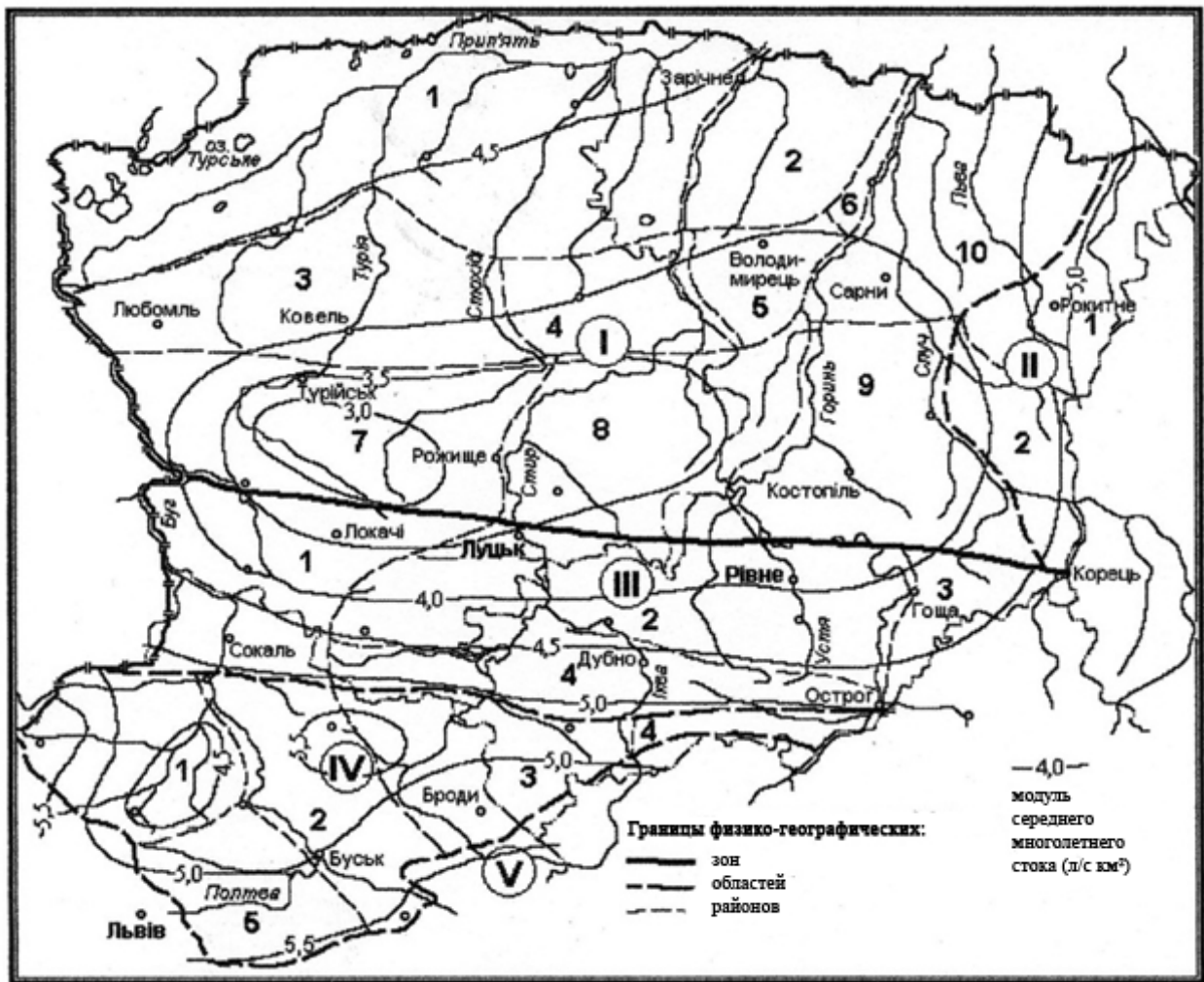
Среднегодовое поверхностный и подземный сток основных рек Западного Полесья

Река	Пункт	A, км ²	C _v	Среднегодовое сток				Часть п. с. в год, %
				Поверхностный		Подземный		
				Q, м ³ /с	M, л/с км ²	Q, м ³ /с	M, л/с км ²	
Зап.Буг	Сасов	107	0,17	1,34	12,5	0,70	6,50	52
Зап.Буг	Кам.Бугская	2260	0,42	13,52	5,98	3,65	1,62	27
Полтва	Пельтев	725	0,43	4,08	5,63	1,14	1,57	28
Полтва	Буськ	1440	0,45	8,02	5,57	3,20	2,22	40
Рата	Межиречье	1740	0,40	8,53	4,90	2,90	2,82	34
Рата	Волица	1140	0,38	6,74	5,91	2,50	2,19	37
Свиня	Нестеров	98,6	0,32	0,42	4,26	0,13	1,32	32
Солокия	Червоноград	931	0,40	4,23	4,54	1,35	1,45	32
Луга	В. Вольнский	1270	0,29	4,58	3,61	1,92	1,51	40
Припять	Речица	2210	0,68	9,66	4,37			
Припять	Любязь	6100	0,57	12,67	2,08			
Выжовка	Руда	141	0,52	0,68	4,82	0,04	0,28	6
Выжовка	Ст. Выжовка	722	0,46	2,70	3,74	0,35	0,48	13
Турья	Ягодное	459	0,55	2,21	4,81	0,39	0,85	18
Турья	Ковель	1480	0,51	4,25	2,87	0,80	0,54	19
Турья	Бузаки	2630	0,62	11,59	4,41			
Стоход	Малиновка	692	0,91	2,10	3,03			
Стоход	Гулевка	1420	0,67	5,66	1,91	0,67	0,23	12
Стоход	Любешов	2970	0,74	12,87	4,33	1,28	0,43	10
Стырь	Щуровци	2020	0,31	10,87	5,38	4,24	2,09	39
Стырь	Луцк	7200	0,25	31,37	4,36	15,4	2,13	49
Стырь	Млинок	10900	0,33	44,84	4,11			
Радоставка	Трийца	316	0,33	2,23	7,06	0,53	1,68	24
Иква	Советское	632	0,31	4,27	6,76	2,35	3,72	55
Горынь	Ямполь	1400	0,28	7,07	5,05	1,87	1,34	46
Горынь	Оженин	5860	0,30	25,46	4,34	11,7	1,99	46
Горынь	Деражное	9160	0,29	43,0	4,69	16,3	1,78	38
Горынь	Речица	27000	0,18	97,4	3,61			
Вырка	Сварыни	232	0,45	2,67	0,12	0,10	0,43	4
Случ	Б. Клитная	232	0,44	28,5	0,01	24,6	24,6	20

Таблица 8.2

Степень осушения бассейнов отдельных рек

Речка	Пункт	A, км ²	Осушение бассейнов в процентах от площади водосбора					
			1960	1965	1970	1975	1980	1985–1990
Иква	Млыновская ГЭС	1960	2,4	2,7	7,5	8,1	8,6	9,3
Горынь	Ямполь	1400	1,0	1,7	1,9	2,1	4,5	5,4
Горынь	Оженин	5860	0,1	0,7	2,6	3,0	4,3	4,5
Горынь	Деражное	9160	0,1	0,8	2,4	3,9	5,7	7,1
Вырка	Сварыни	231	-	-	11,9	14,4	27,9	28,2
Случ	Громада (Данцев)	2480	-	-	0,1	0,1	0,4	0,8
Случ	Сарны	13300	-	5,0	9,4	12,1	13,2	16,5
Хомора	Понинка	1410	0,1	1,2	1,9	4,3	5,1	17,3
Тня	Бронники	982	-	12,8	17,8	20,1	27,0	29,4
Смолка	Суслы	632	-	0,3	6,0	13,9	17,2	20,0
Льва	Осницк	276	12,8	18,3	35,4	35,4	35,7	36,7
Уборть	Краснобережье (Злодин)	5260	1,2	4,4	10,1	11,6	12,0	12,7
Уборть	Рудня Ивановская	776	5,9	8,2	17,5	24,3	27,5	30,3
Уборть	Перга	2880	3,9	9,2	12,3	14,9	20,3	22,0
Бережанка	Рудня	187	-	2,5	10,2	15,2	24,6	26,0
Уж	Коростень	1460	0,4	2,6	2,7	9,1	9,9	10,7
Уж	Полесское	5960	0,4	2,5	2,8	4,8	8,5	10,2
Норин	Славенщина	804	-	-	1,0	2,4	9,0	11,4



8.1. Средний многолетний сток, л/с км²

Существенно проявляется влияние осушительных мелиораций на режим и баланс подземных вод региона. Оценка влияния осушения на режим грунтовых вод проводилась по нескольким репрезентативным системам, которые расположены в верховьях реки Стоход, в бассейнах Оконки, Воронки, Иквы. Исследования показали, что наиболее существенное влияние мелиоративных работ на уровне грунтовых вод проявляется в период летней межени, что полностью соответствует наблюдениям на озерах.

Таблица 8.3

Плотность сети осушительных каналов в бассейнах рек

Река	Пункт	Площадь водосбора, км ²	Протяженность, км		Плотность гидрографической сети, км/ км ²		
			Открытой	Закрытой сети	В природном состоянии	С учетом осушающей сети	Открытой
Рага	Межиречье	1740	6305	24185	0,70	4,26	13,7
Полтва	Буськ	1440	876	6382	0,67	1,28	4,41
Выжовка	Ст.Выжовка	722	1661	14656	0,75	2,30	20,3
Турья	Бузаки	2360	6608	49088	0,30	2,80	20,8
Стоход	Любешов	2970	10989	72468	0,27	3,70	24,4
Стьрь	Млинок	10900	40330	224540	0,28	3,70	20,6
Горынь	Речица	27000	89100	621000	0,43	3,30	23,0
Случ	Сарны	13300	39900	445550	0,47	3,00	33,5
Хомора	Понинка	1410	3807	46248	0,55	2,70	32,8
Льва	Осницк	276	994	8142	0,26	3,60	29,6
Уборгь	Перга	2880	13536	45792	0,38	4,70	15,9
Уж	Полесское	5690	18777	124042	0,31	3,30	21,8

Ширина зоны осушения зависит, главным образом, от условий гидрогеологии конкретного болотного массива и в меньшей мере от конструктивных особенностей осушительной системы, так как

степень дренирования системы изменяется в широких диапазонах. Учитывая решающую роль факторов гидрогеологии, для этого региона И. Н. Худошин [3] составил прогнозную схему изменения уровней грунтовых вод под воздействием осушения на разной отдаленности от граничных дрен (табл. 8.4). По данным этого автора, отмечается исчезновение многочисленных в прошлом восходящих источников, уменьшение дебитов эксплуатационных скважин. Заметно влияние осушения и на запасы первых от поверхности напорных водоносных горизонтов, связанных с трещиноватой толщей верхнего мела.

Таблица 8.4

Зависимость величины понижения уровней грунтовых вод и величины зоны влияния осушительных систем от водопроницаемости горных пород

Коэффициент водопроницаемости, кв.м/доб	Зона влияния, км	Снижение уровня грунтовых вод в процентах от нормы осушения, на расстоянии, км	
		0,5	1,0
До 50	До 1,0	13	2
50-100	1,0-1,5	13-23	2-5
100-250	1,5-2,0	23-37	5-13
250-500	2,0-3,0	37-52	13-27
500-1000	3,0-5,0	52-63	27-40
1000-2500	5,0-6,0	63-75	40-56
2500-5000	6,0-7,5	75-80	56-66
Более 5000	Более 7,5		

Влияние мелиорации на качественное состояние естественных вод проявляется, с одной стороны, через изменение гидрологических характеристик потока в новом русле под воздействием спрямления; с другой – через изменение показателей использования водосборной площади и изменение условий формирования стока основных ионов, микроэлементов и различных загрязняющих веществ.

Спрявление русел рек, преобразованных в магистральные каналы осушительных систем, приводит к активизации процессов русловой эрозии, переноса взвешенных и донных наносов, заиления участков рек и водоемов, которые расположены ниже по течению (системы в бассейнах рек Иквы, Тартацкой, Львы и др.).

Содержимое взвешенных наносов на спрямленных участках рек в пределах осушительных систем достигает 100 мг/л при норме 20 мг/л. Существенно изменяется также ионный сток. Так, в верховьях Припяти после осушительных работ в период зимней межени вынос органических веществ увеличился вдвое [3]. Во столько же выросла и минерализация за счет основных ионов (в первую очередь закиси железа).

Изменения ионного стока наиболее заметны на осушенных массивах торфяников, которые объясняются увеличением зоны аэрации и соответственно активизацией процессов деструкции органического вещества и промывки торфа атмосферными осадками.

Кроме того, проявляется увеличение питания рек за счет более глубоких водоносных горизонтов с преобладающей кислой реакцией среды. Увеличение водности поверхностных водотоков на осушенных землях в отдельные влажные годы также приводит к увеличению выноса минеральных солей и органических веществ. При этом основную проблему составляет вынос ионов азота и фосфора, абсолютные концентрации которых достигают соответственно 2,0 и 0,3 г/л в период зимней межени и существенно увеличиваются в результате активного внесения минеральных удобрений на мелиорируемые поля в весенне-летний период. Попадание ионов аммонийной и фосфатной групп в поверхностные водоемы значительно снижает качество воды и вызывает его «цветение».

Осушительные мелиорации неоднозначно влияют на величину разных категорий стока в зависимости от конкретных условий. Существенно проявляется влияние осушительных мелиораций на режим и баланс подземных вод и на их химический состав.

8.2. Повторяемость и длительность затопления пойм на реках Украинского Полесья

Затопление пойм является характерным явлением на реках Украинского Полесья. Значительные убытки, которые при этом имеют место, указывают на актуальность изучения закономерностей повторяемости и длительности затопления. По материалам наблюдений к 2000 г. на государственной гидрометрической сети нами систематизированы данные о частоте затоплений, уровнях выхода воды на пойму и глубине затопления пойм при уровнях разной вероятности превышения в летне-осенний период (табл. 8.5).

Таблица 8.5

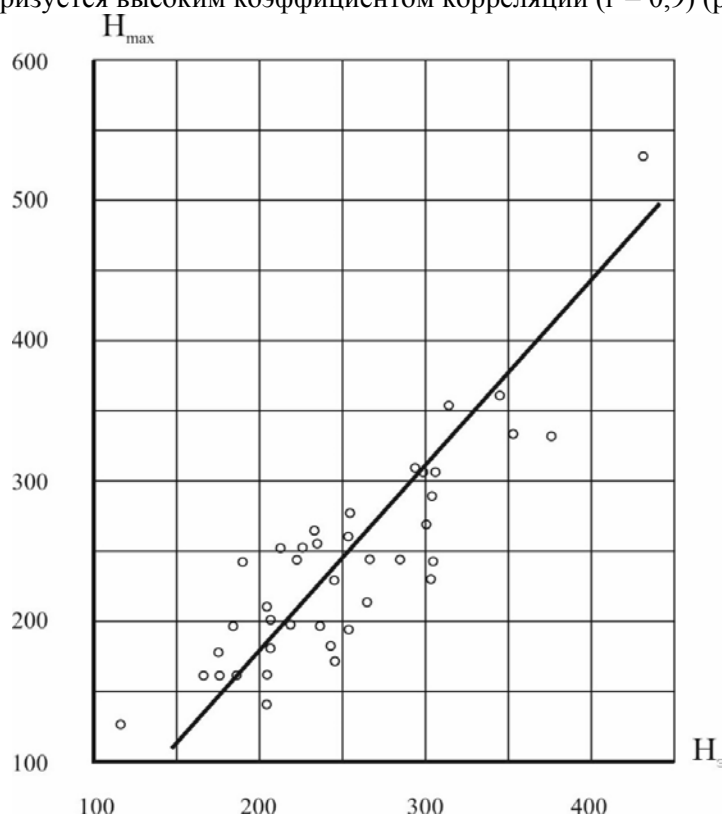
**Характеристика затопления пойм рек Малого та Припятского Полесья в летне-осенний период
(по данным наблюдений на государственной гидрометрической сети)**

Река – пункт	Число лет наблюдений	К-во лет с затоплением пойм	Уровень выхода воды на пойму		Глубина затопления пойм, см				
			см	Обеспеч., Р, %	За период наблюдений		При уровне воды обеспеченностью Р, %		
					максимальная	средняя	1	10	25
Западный Буг – пгт. Сасов	47	6	250	13	36	0	45	15	0
Западный Буг – г. Камянка Бугская	50	29	200	57	138	11	180	130	40
Западный Буг – г. Сокаль	39	23	310	75	236	41	250	175	90
Полтва – м. Буськ	51	31	220	61	168	24	200	160	70
Рата – с. Волица	41	8	240	19	70	0	85	40	0
Рата – с. Межиречьє	41	24	320	58	237	13	280	155	80
Жолдець – х. Луговое	44	14	230	31	122	0	150	60	10
Солокия – м. Червоноград	33	22	340	67	178	16	240	125	90
Припять – с. Речица	38	30	290	78	80	17	115	52	30
Припять – с. Любязь	37	25	250	68	117	26	150	80	45
Выжовка – с. Руда	54	6	200	10	21	0	35	0	0
Выжовка – смт. Старая Выжовка	56	10	260	17	56	0	75	30	0
Турья – с. Ягодное	55	14	290	25	84	0	100	50	10
Турья – г. Ковель	55	8	280	15	76	0	100	20	0
Турья – с. Бузки	39	24	170	62	64	7	120	70	25
Стоход – с. Малиновка	50	10	150	26	113	-	150	90	65
Стоход – с. Гуливка	42	11	180	26	47	0	65	30	0
Стоход – пгт. Любашев	42	29	200	59	66	7	80	50	35
Стырь – с. Щуровцы	44	21	200	48	93	3	120	70	40
Стырь – м. Луцк	63	12	300	19	124	0	150	55	0
Стырь – пгт. Колки	44	9	260	20	50	0	90	30	0
Стырь – с. Полонное	50	3	320	6	67	0	105	2	0
Стырь – с. Млинок	40	32	220	80	131	32	155	110	85
Радоставка – с. Трийда	45	26	180	57	142	18	260	125	62
Иква – с. Советское	55	7	240	13	64	0	80	20	0
Горынь – смт. Ямполь	58	4	530	6	23	0	50	0	0
Горынь – с. Оженин	54	26	160	49	91	1	120	55	37
Горынь – с. Деражное	43	26	300	61	127	5	145	110	81
Горынь – с. Степань	36	14	300	38	180	0	130	100	60
Горынь – с. Дубровица	50	26	300	32	166	5	220	180	100
Вырка – с. Сварины	54	4	200	8	27	0	40	10	0
Бережанка – с. Подлесное	43	35	230	82	91	35	110	88	75
Случ – с. Большая Клетная	45	17	200	37	47	0	60	30	12
Случ – с. Громада	45	11	300	23	92	0	120	47	5
Случ – м. Сарны	55	19	350	35	204	0	220	160	70
Хомора – смт. Понинка	53	1	320	3	81	0	130	0	0
Тня – с. Бронники	61	29	250	48	256	11	270	170	45
Смолка – с. Суслы	55	21	240	38	268	0	285	180	115
Льва – с. Осницк	42	23	110	56	127	17	150	110	85
Уборть – с. Рудня Ивановская	32	6	300	18	48	0	0	0	0
Уборть – с. Перга	46	7	350	16	42	0	55	24	0
Уж – м. Коростень	55	36	185	65	340	56	367	185	120
Уж – пгт. Полесское	55	41	120	75	274	93	320	235	185
Жерев – с. Вязевка	31	19	220	62	141	28	212	135	105
Норин – с. Славенщина	36	26	210	71	168	41	212	138	87
Грезля – уроч. Брод	31	14	170	44	52	0	110	58	25

Анализ таблицы показывает, что в летне-осенний период на большинстве рек (62 %) в среднем один раз в 2–3 года наблюдается затопление пойм. Повторяемость затопления увеличивается от истока к устью. Эту закономерность хорошо видно на реках, которые имеют по длине несколько гидрометрических створов. Так, на р. Западный Буг в гидростворах в пгт. Сасов, г. Камянка Бугская и г. Сокаль, удаленных от истока соответственно на 14, 83, и 140 км, обеспеченность выхода уровня воды на пойму составляет соответственно 13, 57, и 75 %. Подобные изменения наблюдаются и на других реках (Рата, Выжовка, Стоход, Уж). Однако на некоторых участках рек (Турья около г. Ковель, Стырь около г. Луцк и с. Полонное, Горынь около с. Степань и др.) такая закономерность нарушается. Одной из главных причин этого является изменение пропускной способности русел, которое предопределено изменением геоморфологического строения бассейна и долины, размеров и формы русла, высоты и ширины поймы, гидравлических и других характеристик потока вниз по течению реки. Значительное влияние оказывают хозяйственные мероприятия, которые способствуют повышению высоты пойменной террасы над урезом воды (берегоукрепления, защитные сооружения и дамбы обвалования, углубления русел и т. п.).

Изучению высотных характеристик пойм посвящен ряд работ [1, 2]. В частности, Е. В. Шанцером (1951) установлена корреляционная зависимость между отметкой затопления поймы, среднегодовыми максимальными расходами воды и уровнями воды. Н. И. Маккавеев (1955) приводит данные о высоте пойм рек Волги, Днепра, Камы и их связи с амплитудой колебания уровней воды: «Средняя высота прирусловой, более повышенной части поймы достаточно близка к среднему многолетнему уровню полноводья реки». Н. Ю. Соколов (1970) установил зависимость отметки поймы от максимального уровня заданной обеспеченности по материалам наблюдений на реках Беларуси.

Для ее уточнения и установления влияния зональных и других факторов Н. Б. Барышников [1], исследуя бассейны рек в разных географических районах, показал, что если уровень воды, который отвечает среднему многолетнему максимальному расходу, является достаточно объективной характеристикой затопления пойм и его определение не вызывает трудностей, то установить отметку поймы, при которой она затопляется, значительно сложнее. Как известно, пойма – это сложная структура, отметки которой значительно изменяются в продольном и поперечном направлениях. Более того, в связи со сложностью получения крупномасштабных планово-высотных материалов большинство исследователей отметку поймы определяют по данным профиля поперечного сечения реки в гидростворе. Зависимость высотных отметок пойм от средних многолетних максимальных летне-осенних уровней воды характеризуется высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,9$) (рис. 8.2).



8.2. Связь среднего многолетнего максимального уровня воды (H_{max}) и уровня выхода воды на пойму (H_3)

Некоторые отклонения точек подтверждают тот факт, что подавляющее влияние на формирование пойм имеют максимальные весенние расходы воды, которые в большинстве случаев являются наивысшими для Полесских рек.

Наличие тесной связи между рассмотренными характеристиками (рис. 8.2) дает возможность с достаточной точностью определить неизвестный показатель H_3 (уровень выхода воды на пойму) в зависимости от H_{\max} (средний многолетний максимальный уровень воды) для малоизученных и неизученных рек.

При одинаковой площади водосбора повторяемость затопления пойм на верхних участках рек в пределах возвышенностей меньше, чем на Полесской низменности. Это предопределено более благоприятными условиями стекания в этой части водосборов рек. В устьях рек частым и длительным затоплениям обширных территорий способствует подпор рек высшего порядка.

Обобщение и анализ данных наблюдений на реках Припятского Полесья с диапазоном площадей водосбора 107–13300 км² показал, что существует тесная взаимосвязь частоты затопления пойм (P , %) и превышения (Δh) среднего многолетнего максимального уровня дождевых паводков (H_{\max}) над отметкой выхода воды на пойму (H_3), то есть

$$\Delta h = H_{\max} - H_3. \quad (8.1)$$

В зависимости от развития пойменной террасы и характера русла реки средний многолетний максимальный уровень воды дождевого паводка может быть выше отметки выхода на пойму или меньшим от него. В первом случае Δh имеет положительное значение, а во втором – отрицательное. Для построения зависимости $P = f(\Delta h)$, которая приведена на рисунке 8.3, повторяемость затопления пойм определялась по кривой обеспеченности максимальных летне-осенних уровней. Она отвечает обеспеченности уровня выхода воды на пойму (табл. 8.5).

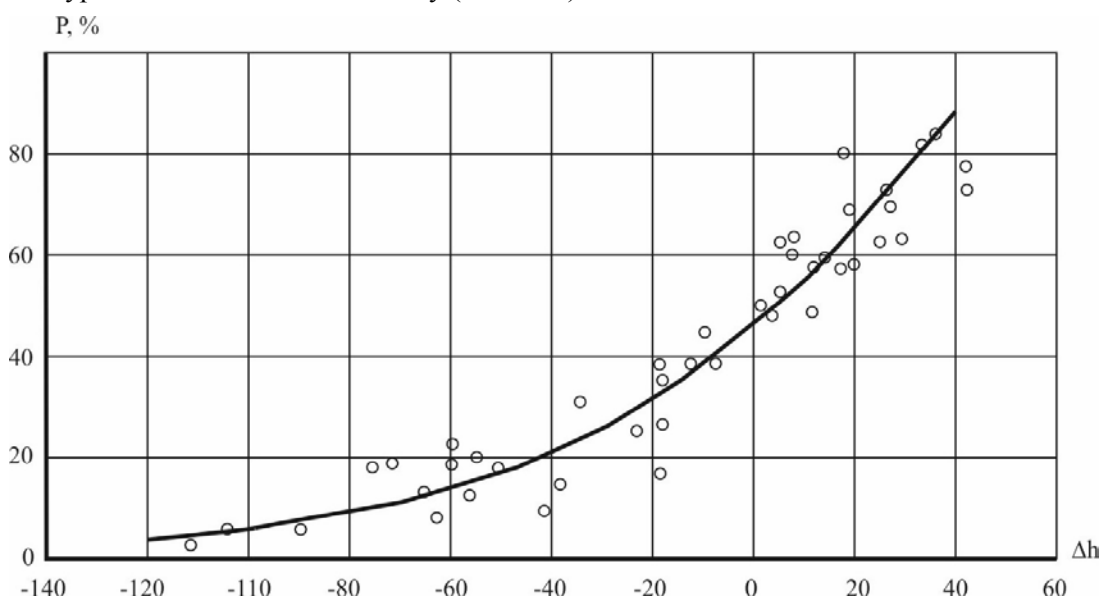


Рис. 8.3. Зависимость повторяемости затопления пойм (P , %) от превышения средних многолетних максимальных уровней воды над уровнем выхода воды на пойму (Δh)

В соответствии с графиком (рис. 8.3) для пойм, расположенных на отметке, которая равняется многолетнему уровню дождевых паводков, затопления пойменных территорий в теплый период года происходят каждые 2–3 года. Через 5 лет вода выходит на пойму, если ее отметка на 40 см выше среднего многолетнего максимального уровня. Ежегодное затопление пойм наблюдается при ее высоте на 40–60 см ниже H_{\max} .

Анализ кривой, которая проведена через центры отдельных групп точек, показал, что она имеет разную кривизну на участках с положительными и отрицательными значениями Δh , что характеризует формирование средних максимальных уровней воды в пределах русла и при выходе воды на пойму. В целом зависимость $P = f(\Delta h)$ аналитически описывается формулой

$$P = a \cdot e^{b \cdot \Delta h}, \% \quad (8.2)$$

где a и b параметры кривой, $e = 2,7183$.

Для положительных значений Δh величины параметров a и b равняются соответственно 46 и 0,0163, а для всех отрицательных – 46 и 0,0209.

С помощью указанной зависимости можно без расчетов и построения кривой обеспеченности с достаточной надежностью определить величину повторяемости затопления пойм на любом участке

реки. Проверка точности определения $P, \%$, этой зависимости показывает, что погрешность в 35 случаях из 45 не превышает 10 %.

При изучении закономерностей формирования максимального стока и особенно затопления пойм рек представляет интерес определение пропускной способности водотоков, величина которой зависит от размера и формы русла. От величины пропускной способности русла зависят частота затопления пойм, режим работы мелиоративной сети, которая регулирует сток.

Как обобщенный показатель пропускной способности в работе принят коэффициент μ , который является отношением расхода, отвечающего отметке выхода воды на пойму (пропускной расход $Q_{пр}$), к среднему многолетнему максимальному летне-осеннему расходу Q_{max} .

$$\mu = Q_{пр} / Q_{max} \quad (8.3)$$

Коэффициент μ показывает, какую часть среднего многолетнего максимального расхода воды способно пропустить данное поперечное сечение русла. При этом чем меньше величина μ , тем чаще затопляется пойма при прохождении дождевых паводков. Это позволяет допустить, что между показателем пропускной способности и частотой выхода воды на пойму существует связь и соответственно появляется возможность определять повторяемость выхода воды на пойму по величине μ . Кроме того, графический анализ связи показателя пропускной способности русла и величины превышения среднего многолетнего уровня воды над отметкой поймы (Δh) показывает наличие зависимости между ними (рис. 8.4).

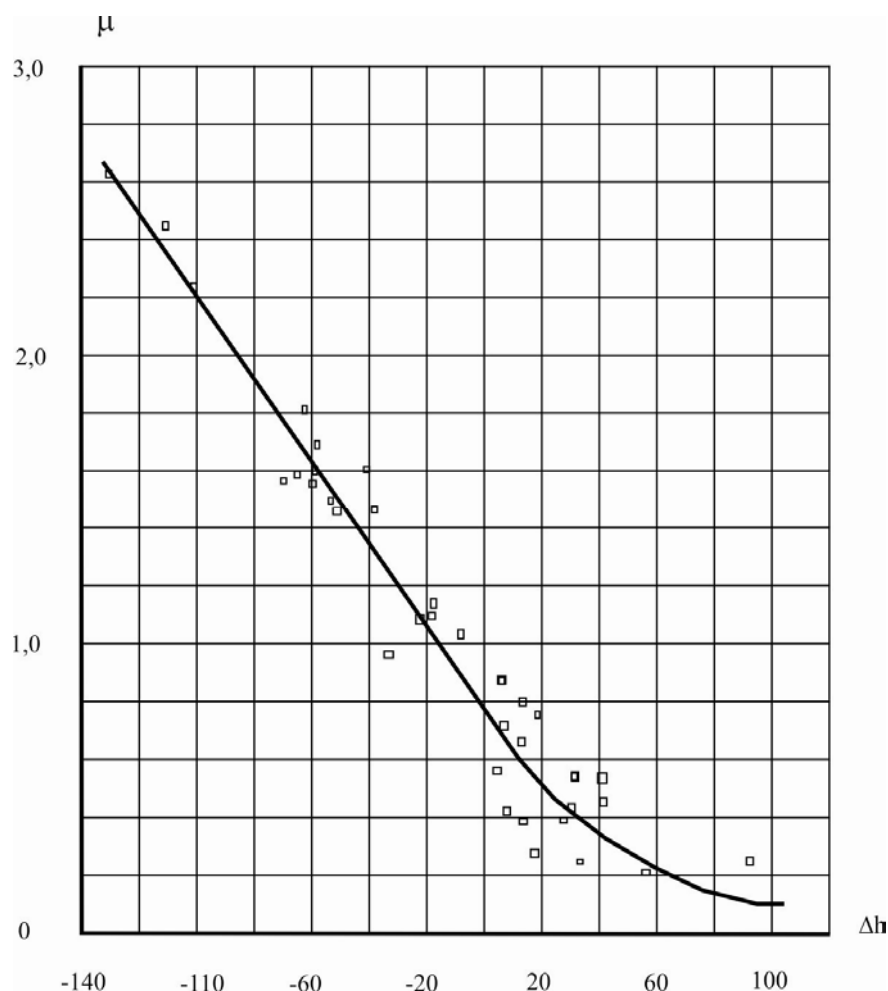


Рис. 8.4. Зависимость показателя пропускной способности русел (μ) от превышения средних многолетних уровней воды над уровнями выхода воды на пойму (Δh)

Следовательно, по величине Δh можно получить показатель пропускной способности русла в любом створе реки. Наличие разбросанных точек на графике указывает, что на эту зависимость имеют влияние другие факторы. Исходя из сущности определения показателя μ , правомерно допустить, что на его величину влияют такие же естественные факторы, как и на величину пропускной способности, а именно: геоморфологические особенности участка реки, площадь водосбора, уклон русла, водность, хозяйственная деятельность и др.

Теснота связи между μ и Δh (рис. 8.4) характеризуется коэффициентом корреляции 0,94. Аналитически она описывается уравнениями:

– для отрезка прямой, которая соответствует $\Delta h < 0$,

$$\mu = 0,76 - 0,015 \cdot \Delta h, \quad (8.4)$$

и для криволинейного отрезка (при $\Delta h > 0$) уравнением

$$\mu = 0,76 \cdot e^{-0,02 \cdot \Delta h}. \quad (8.5)$$

Приведенная на рисунке 8.5 зависимость повторяемости затопления пойм (P , %) от показателя пропускной способности русел рек указывает на достаточно высокую взаимосвязь этих величин, что подтверждается высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,92$). Как и в предыдущих случаях ($P = f(\Delta h)$ и $\mu = f(\Delta h)$), наилучшее соответствие рассчитанных и фактических значений достигается в том случае, когда аналитическое описание кривой связи $P = f(\Delta h)$ выполняется для участков, которые отвечают условиям формирования средних максимальных расходов и уровней воды в пределах русла и при выходе воды на пойму ($\mu > 0,76$ и $\Delta h < 0$).

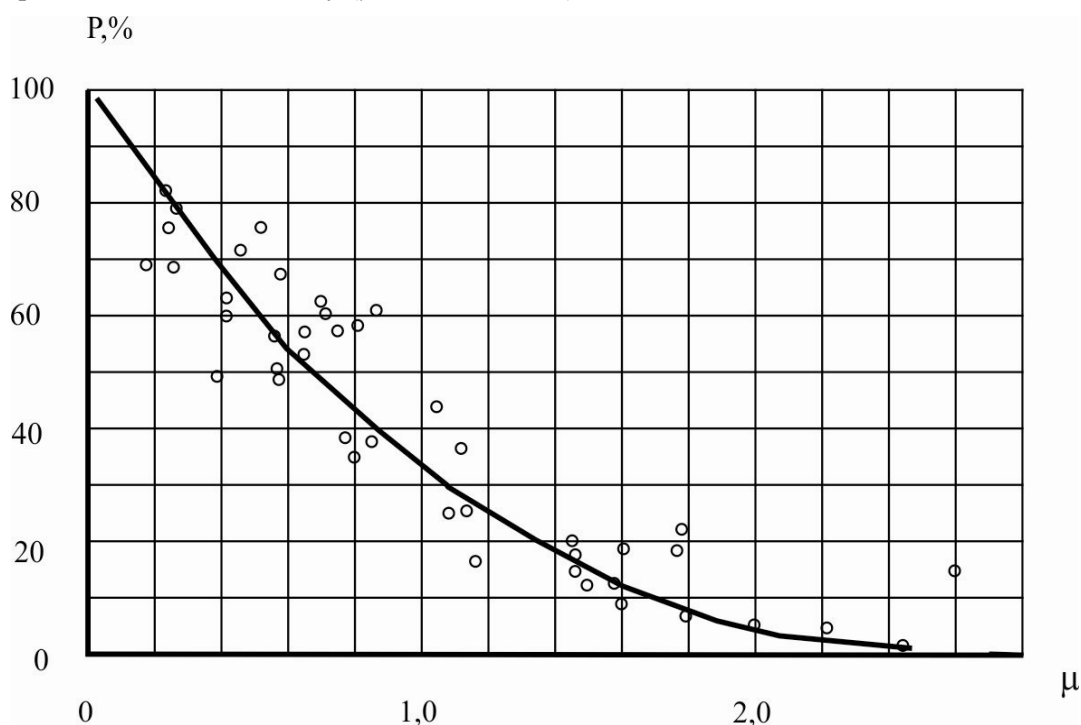


Рис. 8.5. Зависимость повторяемости затопления пойм (P , %) от показателя пропускной способности русел рек (μ)

В первом случае уравнение имеет вид

$$P = 133,7 \cdot e^{-1,404 \cdot \mu}, \quad (8.6)$$

а в другом –

$$P = 100 \cdot e^{-1,022 \cdot \mu}. \quad (8.7)$$

Полученная зависимость может быть использована для оценки повторяемости затопления пойм для всех рек региона.

Длительность затопления пойм рек, представляющая интерес для сельского хозяйства, в отдельных районах Украинского Полесья в летне-осенний период достигает нескольких недель и даже месяцев.

По характеру формирования максимального летне-осеннего стока, частоты и длительности затопления пойм рек на исследуемой территории выделяются Полесская низменность, которая охватывает Волинское, Житомирское, частично Киевское Полесье, и северные склоны Волыно-Подольской возвышенности, где расположены верхние участки правобережных притоков Припяти. Между Волинским и Подольским плато расположено Малое Полесье, которое за морфологическими особенностями подобно Полесской низменности.

В пределах Полесья реки имеют малые уклоны, отличаются низкой пропускной способностью русел и значительной заболоченностью пойм. Здесь характерны длительные летне-осенние паводки, которые сопровождаются затоплением пойм.

Для анализа длительности затопления пойм были систематизированы материалы наблюдений за уровнями воды по каждому гидроствору на исследуемых реках. Систематизация и анализ этих

материалов предусматривали выделение периодов, когда ежегодные расходы воды превышали отметки пойм, построение кривых обеспеченности длительности затопления пойм и расчет их параметров для рек, где повторяемость выхода воды на заводь превышала 50 %.

Анализ рядов наблюдений показал, что на участках, которые расположены в пределах возвышенностей, где аккумулярующая емкость речных бассейнов незначительна, максимальные летне-осенние уровни воды не превышают отметку пойм, или их затопления непродолжительны – 4–5 дней. В пределах денудационных равнин с отметками поверхности 170–200 м длительность затопления пойм увеличивается и составляет в среднем 4–10 дней (Западный Буг – г. Камянка Бугская, Турья – с. Ягодное, Стоход – с. Оженин и Деражное и др.).

Наибольшая длительность затопления пойм наблюдается в низменностях правобережных притоков Припяти, где абсолютные отметки поверхности не превышают 170 м. Кроме того, что наиболее низкие отметки и незначительные уклоны здесь предопределяют малую пропускную способность рек, длительному затоплению способствует и подпор от водоприемника Полесья – р. Припять.

Статистическая обработка данных о длительности затопления пойм $T_{зат}$, построение кривых обеспеченности и расчет их параметров имеют одну особенность. Верхним пределом длительности затопления пойм нами принимается период длительностью 183 дня, который охватывает летне-осенний и вегетационный периоды. При такой длительности затопления наносится максимальный вред сельскохозяйственному производству.

В отдельные годы, когда не наблюдалось выхода воды на пойму, $T_{зат}$ принималось равным нулю, и расчет его среднего значения происходил с учетом всех членов ряда. При числе членов ряда с нулевыми значениями $T_{зат}$ более 50 % статистическая обработка не проводилась.

Необходимо отметить, что выборки $T_{зат}$, на основе которых получены C_s и C_v , для большинства створов характеризуются большой переменчивостью и имеют значительную асимметрию (рис. 8.6). Отдельные величины $T_{зат}$ резко отличаются по своей величине от других, что усложняет экстраполяцию кривой в диапазоне малых обеспеченностей.

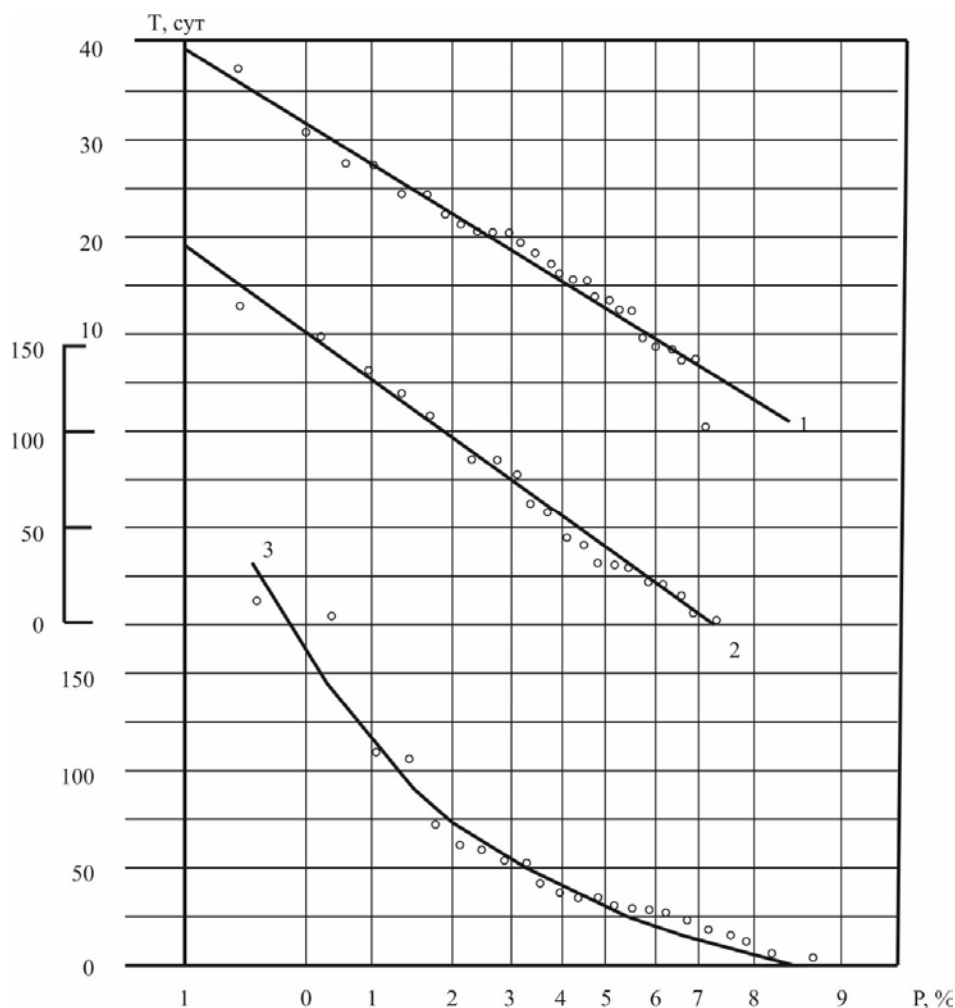


Рис. 8.6. Кривые обеспеченности длительности затопления пойм ($T_{зат}$), с, на реках: 1 – Уж – пгт. Полесское, 2 – Бережанка – с. Подлесное, 3 – Стырь – с. Млинок

Полученные для $T_{\text{зат}}$ величины коэффициентов вариации (C_v) очень высоки и, как правило, больше 1, а максимальное значение $C_v = 1,92$ (р. Западный Буг – г. Камянка-Бугская).

Коэффициенты асимметрии (C_s) изменяются от 0,8 до 4,8, иногда они больше 5,0. Вследствие этого, а также из-за значительной асимметричности рядов средняя многолетняя величина $T_{\text{зат}}$ значительно отклоняется от ее значения 50%-ной обеспеченности.

Исследования показывают, что на участках, расположенных в нижних течениях правобережных притоков Припяти в ее верховьях (р. Стоход – пгт. Любашев, р. Стырь – с. Мельница, р. Припять – с. Речица и Любязь) средняя длительность затопления пойм изменяется от 28 до 60 суток, а максимальная достигает 183 суток.

Длительность затопления поймы р. Горынь в пределах сел Деражное и Оженин предопределено резким выположением продольного профиля на границе Воыно-Подольской возвышенности и большой концентрацией объемов вод, сформировавшихся в верхней части бассейна. Этот участок реки характеризуется плоским рельефом и значительной заболоченностью.

Довольно длительным стоянием воды выше отметки поймы отличается участок р. Бережанки около с. Подлесное (в среднем 52 дня). Эта река находится в типичных для низменностей условиях, которые предопределяют незначительную пропускную способность. Затоплению поймы способствует также развитая дренажная сеть, которая убыстряет сток дождевых вод из осушенных массивов, а также подпор от р. Горынь.

8.3. Некоторые вопросы расчета стока рек Западного Полесья Украины

Основные параметры гидротехнических сооружений бассейновых систем рек Полесья определяются, как известно, гидрологическими расчетами, которые позволяют обосновать необходимость проведения мероприятий по регулированию водного режима территорий и борьбе с затоплениями и подтоплениями.

Существующие методы гидрологических расчетов основных характеристик, как правило, теоретически обоснованы. Вместе с тем параметры формул, зависящие от местных природных факторов и хозяйственной деятельности человека, нуждаются в уточнениях применительно к местным условиям.

В настоящее время применение той или иной методики гидрологических расчетов регламентируется нормативными документами, обобщающими достижения отечественной гидрологической науки.

При определении расчетных характеристик стока малых рек, на которых отсутствуют гидрометрические наблюдения, обобщенные методы дают большие погрешности, даже в случае введения к зональным значениям различных поправок. Это связано с тем, что формирование стока в условиях интенсивно осваиваемых территорий, к которым относится и Припятское Полесье, происходит при сложном взаимодействии природных факторов и деятельности человека. В частности, на значительных площадях в Полесье экономически целесообразно применять осушение с механическим водоотводом и применением дамб обвалования, ограждающих пойму от затопления тальми и ливневыми водами.

При движении потока в одамбированном русле вследствие увеличения скоростей течения и уменьшения руслового наполнения расходы воды трансформируются в меньшей степени, чем при полном затоплении поймы, что приводит к относительному увеличению максимальных расходов и уровней воды. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании высоты дамб.

Максимальные расходы рек Полесья, как известно, формируются в процессе весеннего половодья. Для определения расчетных значений максимальных значений талых вод в отделе осушительных мелиораций УкрНИИГиМ под руководством В. И. Мокляка была разработана следующая формула в виде:

$$Q_p = 0,28 a_p \square F \lambda, \quad (8.8)$$

где Q_p – расчетный максимальный расход воды заданной вероятности превышения, $\text{м}^3/\text{с}$; a_p – максимальная часовая интенсивность склонового притока 1%-ной обеспеченности, $\text{мм}/\text{час}$; \square – коэффициент редукиции модуля максимального стока; F – площадь водосбора, км^2 ; λ – коэффициент обеспеченности максимального стока.

Влияние залесенности и заболоченности отдельно не учитывается, так как в исследуемом районе оно сказывается примерно одинаково в бассейнах всех рек и учитывается параметром a . Больших водохранилищ в Полесье тоже нет, и по условиям рельефа их не может быть, поэтому влиянием зарегулирования стока на максимальные расходы можно пренебречь.

Параметры формулы определяются следующим образом.

1. Максимальная часовая интенсивность склонового притока 1%-ной обеспеченности $a_{1\%}$ в данном районе изменяется в пределах от 4 до 6 мм/час. Высокие значения $a = 6$ мм/час наблюдается в бассейнах рек Выжовка и Жерев. Наименьшие значения $a = 4$ мм/час присущи бассейнам Стоход и Стырь. Для остальных рек параметр $a = 5$ мм/час.

2. Коэффициент редукии модуля максимального стока определяется в такой последовательности:

а) по формуле $V = \Delta H \cdot t$, км/сутки, подсчитывается скорость добегания, где параметр характеризует форму сечения и шероховатость русла поймы для обычных равнинных рек (категория 1, $m = 0,45$), для частично пойменных (категория 2, $m = 0,35$), для пойменных и заболоченных (категория 3, $m = 0,25$).

Падение реки H определяется по топографической карте как разность между отметками у истока реки (или водораздела) и отметкой уреза воды в расчетном створе;

б) по величине скорости добегания подсчитывается время добегания:

$$\tau = \frac{L}{V},$$

где L – длина реки (водотока) от истока (или водораздела) до расчетного створа в км;

в) при известном времени добегания τ по таблице 8.6 находят коэффициент редукии.

3. Площадь водосбора F , км², определяется по топографическим картам.

4. Коэффициент обеспеченности λ находят по таблице 8.7, которая заимствована из монографии «Ресурсы поверхностных вод» (1971).

Таблица 8.6

Зависимость коэффициента редукии от времени добегания

Сутки	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
0,0	1,0*	0,646	0,449	0,343	0,283
1,0	0,257	0,240	0,230	0,223	0,219
2,0	0,215	0,211	0,206	0,202	0,198
3,0	0,195	0,192	0,189	0,186	0,183
4,0	0,180	0,178	0,175	0,173	0,170
5,0	0,167	0,164	0,162	0,159	0,157
6,0	0,154	0,151	0,148	0,145	0,143
7,0	0,140	0,137	0,135	0,132	0,130
8,0	0,127	0,125	0,123	0,121	0,119
9,0	0,117	0,115	0,114	0,113	0,111
10,0	0,110	0,109	0,108	0,107	0,107

* = 1 час

Таблица 8.7

Коэффициенты обеспеченности максимальных расходов воды

Обеспеченность, %	0,5	1	2	3	5	10	20	25
Коэффициент	1,10	1,0	0,82	0,74	0,65	0,52	0,40	0,35

Проверка точности формулы произведена по 23 створам, расположенным на правобережных притоках р. Припяти. Все расчеты сведены в таблицу 8.8. Как видно из последней графы таблицы, отклонения вычисленных расходов от фактических в 87 % случаев не выходят за пределы ± 18 %. Наибольшее отклонение составляет 34 % (фактическими условно названы расходы 1%-ной обеспеченности, полученные по кривым на клетчатке Хазена, за основу построения которых приняты максимальные расходы, наблюдавшиеся на водомерных постах).

Предложенный вариант определения параметров формулы в сравнении с ранее опубликованными имеет ряд преимуществ, которые заключаются в следующем:

1) дана более точная схема определения коэффициентов редукии модуля максимального расхода;

2) разработана схема определения времени добегания, базирующаяся на теоретической зависимости между временем добегания и коэффициентом оттока.

Сопоставление вычисленных и фактических расходов 1%-ной обеспеченности

Река – пункт	F, км ²	L, км	H, м	Кат.	V, км/сут	τ, сут	□	a, мм/час	Q _{выч}	Q _{факт}	$\frac{Q_{\text{выч}}}{Q_{\text{факт}}}$
Выжовка – Руда	141	14	14	1	6,3	2,2	0,211	6	50,0	51,0	0,98
Выжовка – Кукурики	426	24	17	1	7,7	3,1	0,193	6	138,0	140,0	0,99
Выжовка – Старая Выжовка	722	48	31	1	14,0	3,4	0,189	6	230,0	221,0	1,04
Турья – Ягодное	459	57	46	3	11,0	5,2	0,164	5	103,0	87,4	1,18
Турья – Ковель	1480	102	61	3	15,0	6,8	0,143	5	296,0	286,0	1,03
Стоход – Любешов	2970	173	69	3	18,0	9,6	0,113	4	376,0	285,0	1,32
Стырь – Луцк	7200	194	78	3	19,0	10,2	0,109	4	880,0	905,0	0,97
Иква – Млыновцы	632	59	142	3	36,0	1,6	0,223	4	158,0	118,0	1,34
Горынь – Ямполь	1400	71	100	2	35,0	2,0	0,215	5	422,0	465,0	0,91
Горынь – Оженин	5860	223	156	3	39,0	5,7	0,158	5	1300,0	1040,0	1,25
Горынь – Волошки	6860	330	175	3	44,0	7,5	0,134	5	1290,0	1190,0	1,08
Бережанка – Рудня	187	330	17	2	6,0	4,2	0,178	5	46,6	43,7	1,07
Случь – Ивашковка	6770	25	121	2	42,0	5,8	0,157	5	1485,0	1520,0	0,98
Тня-Бронники	982	242	54	1	24,0	2,8	0,198	5	272,0	304,0	0,89
Смолка – Суслов	632	68	52	2	18,0	3,6	0,186	5	165,0	175,0	0,94
Уборть – Рудня Иванковская	510	65	42	1	21,0	3,3	0,191	5	136,0	153,0	0,89
Уборть – Злодин	5260	70	93	2	32,0	7,8	0,130	5	960,0	900,0	1,07
Батывля – Кузьмичи	807	248	27	3	6,8	6,7	0,144	5	163,0	160,0	1,02
Чергень – Некрашевка	445	45	23	2	8,1	4,5	0,174	5	108,0	100,0	1,08
Уж – Коростень	1450	46	67	1	30,0	2,8	0,198	5	402,0	403,0	1,00
Уж – Полесское	5690	84	100	2	35,0	4,8	0,170	5	1350,0	1270,0	1,06
Уж – Большой Черевач	7980	240	120	2	42,0	5,7	0,158	5	1760,0	1580,0	1,11
Жерев – Бабиничи	1440	88	74	1	33,0	2,7	0,200	6	484,0	518,0	0,93

Литература

1. Баришніков М. Б., Суботіна Є. С. Зміна морфологічних характеристик русел по довжині річки // Міжвузівський збірник, 1997. – Вип. 63. – С. 3–11.
2. Бойкова К. Г. Расчет затопления пойм рек // Тр. IV Всесоюз. гидролог. съезда. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – Т. II. – С. 220–223.
3. Природные и экономические аспекты гидротехнических мелиораций в Западном Полесье УССР / И. Н. Коротун [и др.] // Природно-мелиоративный мониторинг в СССР. – М.: МФГО, 1984. – С. 55–64.
4. Определение расчетных гидрометрических характеристик. СНиП 2.01.14. – М.; Стройиздат, 1985. – 36 с.
5. Паламарчук М. М., Закорчевна Н. Б. Водний фонд України : довідковий посібник. – Київ: Ніка-центр, 2001. – 388 с.
6. Яцик А. В. Водогосподарська екологія. – Т. 2. – Київ.: Генеза, 2004. – 384 с.

Глава 9. ПРИРОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ РОВЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

9.1. Геологические условия

Массовое развитие гидромелиоративного строительства в Западном Полесье Украины было предопределено целым рядом факторов, среди которых, в первую очередь, выделялись три группы: природные, социально-экономические и экологические.

Главной природной предпосылкой мелиоративных преобразований в стране стало чрезмерное увлажнение территории, предопределенное особенностями формирования и строения всего естественного комплекса региона, начиная от геологической структуры и климата и заканчивая спецификой локальных ландшафтов.

Геологические особенности территории обусловлены расположением ее в пределах Вольно-Подольской плиты (ВПП), и только восточная окраина территории размещена непосредственно на западной окраине Украинского кристаллического щита. Именно здесь, на границе Вольнского и Центрального Полесья Украины, описываемый регион заходит в Житомирский блок Украинского щита, где кристаллические образования протерозоя (преимущественно граниты, гнейсы, гранитогнейсы осницкого и кировоградско-житомирского комплексов, пронизанные жилами и дайками основных пород – габбро, диабазов и т. д.) подходят непосредственно к дневной поверхности, а часто и отслаиваются по долинам рек. Отсюда (орографически от долины р. Случ) докембрийские кристаллические образования громадными ступенями снижаются на запад, к Карпатской геосинклинали, формируя фундамент ВПП.

Именно в конце протерозоя (рифей) была заложена система сверхглубоких разломов (Горынская, Суцано-Пержанская разломные зоны, Владимир-Волынский разлом и т. д.), которая определила не только упомянутый ступеневидный характер кристаллического фундамента, но и общую блочную структуру региона, что отразилось как на особенностях геологической истории отдельных блоков, так и на дифференциации новейших и современных тектонических движений. Трещиноватость и блочная структура фундамента, унаследованная в последующие геологические эпохи, отобразилась как на особенностях рисунка современной гидрографической сети (К. И. Геренчук, В. П. Палиенко, И. М. Коротун и др.), так и на специфике общих условий гидрогеологии территории (Ф. А. Руденко и др.). Общий вид тектонической структуры региона представлен на рисунке 9.1.

Основная часть Вольнского Полесья (ВПП) в течение геологической истории фанерозоя стала ареной накопления разнообразных осадочных отложений (преимущественно известняки, песчаники, аргиллит и т. д.), которые постепенно нивелировали описанные ступени фундамента, формируя моноклиналичную структуру региона, особенно выразительно представленную на домезозойском срезе (рис. 9.2). На размытой (очевидно, во время континентального перерыва начала мезозоя) поверхности рифей-палеозойской моноклинали несогласованно залегают карбонатные наслоения верхнего мела (мергели, писчий мел и т. д.), которые тоже моноклинали, но более разлого, спадают на запад (если в Сернах толща меловых отложений не превышает 20 м, то поблизости Любомля она достигает 500 м). Именно отложения мела, распространенные на всей территории ВПП, составляют третий (считая снизу) ярус геологической структуры региона, непосредственно влияя на его геоморфологические и гидрогеологические особенности. На интенсивно размытой поверхности мела разорванными ареалами («островами») залегают отложения ранних периодов кайнозоя (рис. 9.3).

На севере региона накапливались преимущественно песчаные толщи моря палеогена, которые проникали сюда с территории Беларуси. Именно в палеогене начал формироваться песчаный комплекс современного Полесья, и только территория щита в это время, очевидно, была сушей, куда проникало море отдельными языками – заливами. В неогене основные геологические события происходили в южной части региона, тесно связанные с жизнью Карпатской геосинклинали: в начале неогена здесь господствовали тёплые геосинклиналичные моря, где накапливались песчаные и карбонатные отложения, а в конце неогена, в сармате, в связи с поднятием Карпат здесь доминировали восходящие движения, благодаря которым на юге Западного Полесья сформировался цоколь Вольнской возвышенности, состоящий из более стойких к размыву известняков и песчаников. Таким образом, уже с конца неогена были образованы основные особенности структурной дифференциации современного рельефа описываемого региона – Полесской низменности на севере и Вольнской возвышенности на юге.

Завершающие этапы формирования геологической структуры Западного Полесья связаны с событиями четвертичного периода, среди которых в первую очередь следует выделить роль четвертич-

ного оледенения. Можно считать доказанным, что ледники Фенноскандии достигали территории Западного Полесья неоднократно – если раньше речь шла лишь о моренных и флювиогляциальных горизонтах окского и днепровского оледенений (П. А. Тутковский, Е. Рюле и др.), то в последнее время выявлены и следы московского оледенения (Л. М. Дорофеев, И. И. Залесский и др.).



Рис. 9.1. Тектоническая схема Ровенской области

Именно под воздействием давних оледенений на территории региона формировался верхний (флювиогляциальный) этаж песчаной толщи Полесья, происходило нагромождение золотых лессовых пород на Волынской возвышенности (П. А. Тутковский, М. Ф. Веклич, А. Б. Богуцкий и др.), закладывались специфические формы современного рельефа (Волыньское моренное пасмо, многочисленные проходные долины) и т. д.

Значительно распространены и представлены в четвертичном комплексе описываемой территории региона аллювиально-озерные (преимущественно песчано-глинистые) образования. Общее представление о пестроты приповерхностной четвертичной толщи, которая непосредственно отражается на мозаичности почвенного покрова и на условиях заболачивания в Западном Полесье можно получить из рисунка 9.4.

К основным геологическим факторам формирования болот и заболоченных земель следует отнести:

1. Блочную, в том числе микроблочную, структуру геологической основы территории, которая определила сильную дифференциацию новейших и современных тектонических движений.
2. Неравномерное поднятие отдельных, часто соседних, блоков, что сыграло основную роль в формировании современного рельефа, который отличается наличием замкнутых западин.
3. Высокую литологическую пестроту поверхностных отложений с наличием многочисленных линз водонепроницаемых пород.
4. Массовое распространение водорастворимых пород верхнего мела, которые содействуют развитию карста.

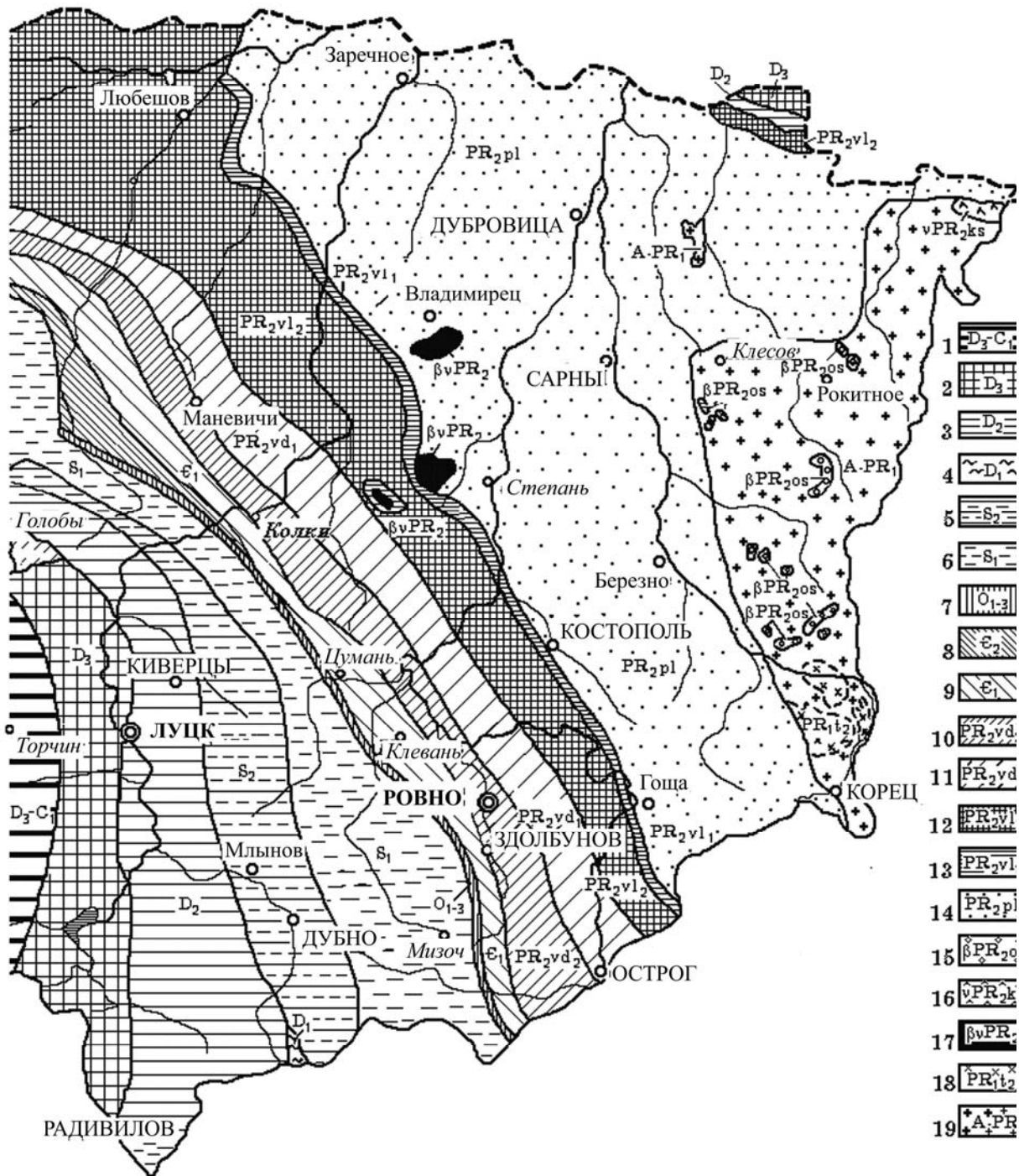


Рис. 9.2. Домезозойские отложения (по материалам РГРЭ)

Палеозойская группа: 1 – нерасчлененные отложения верхнего девона – нижнего карбона; 2 – верхний девон; 3 – средний девон; 4 – нижний девон; 5 – верхний силур; 6 – нижний силур; 7 – нерасчлененные отложения ордовичской системы; 8 – средний кембрий; 9 – нижний кембрий.

Протерозойская группа: 10 – Валдайская серия. Верхний отдел; 11 – Валдайская серия. Нижний отдел; 12 – Волынская серия. Верхний отдел; 13 – Волынская серия. Нижний отдел; 14 – Полесская серия; 15 – верхний протерозой. Осницкий комплекс; 16 – Верхний протерозой. Клёсовский комплекс; 17 – нерасчлененные магматические образования верхнего протерозоя; 18 – нижний протерозой. Тетеривский комплекс; 19 – нерасчлененный архей – нижнепротерозойское образование

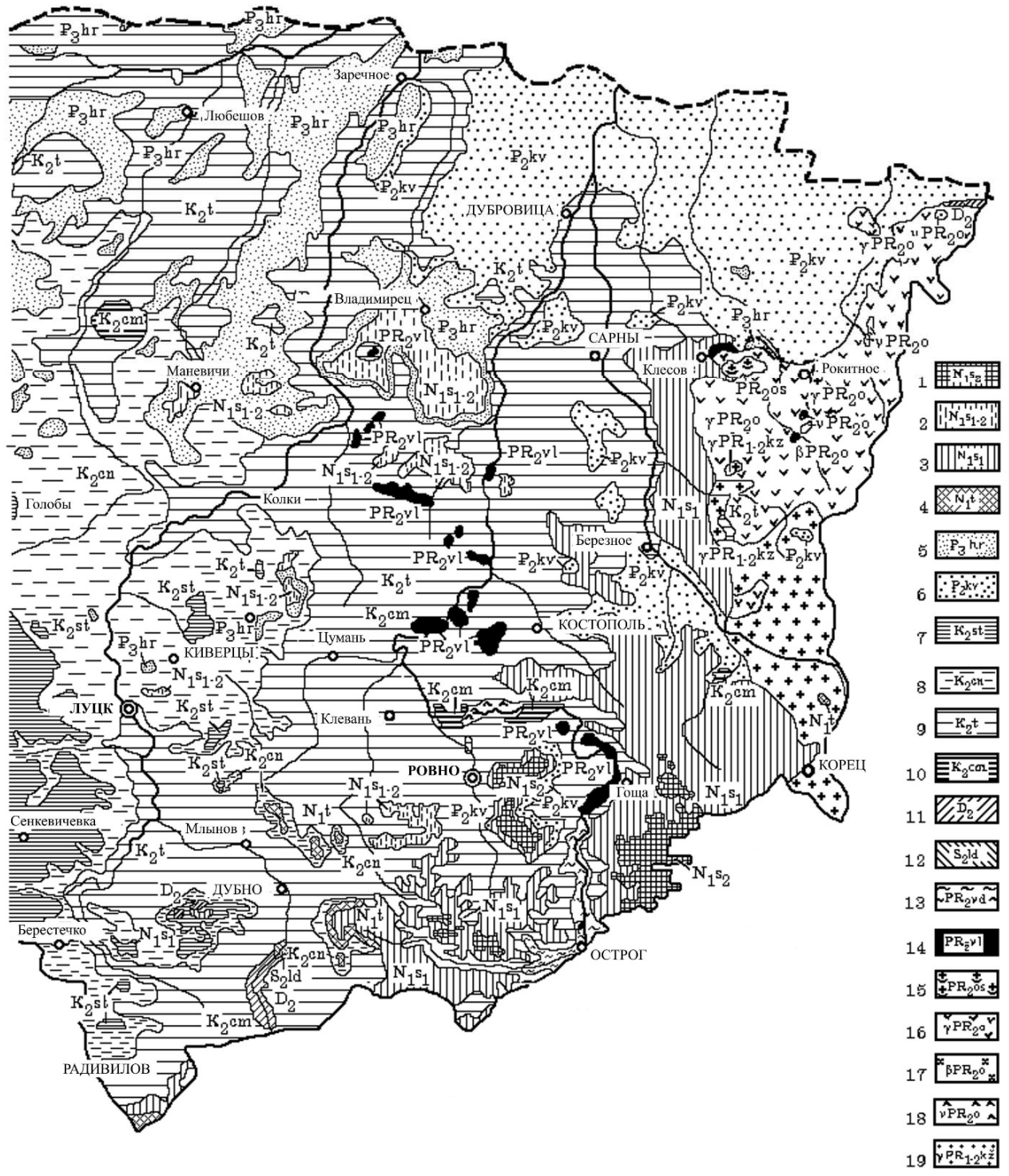


Рис. 9.3. Геологическая карта (дочетвертичная поверхность)

Кайнозойская группа: Неогеновая система. Нижний отдел: 1 – верхний сармат; 2 – нерасчлененные нижне-верхнесарматские отложения; 3 – нижний сармат; 4 – Тортонский ярус.

Система палеогена. Средний отдел: 5 – Харьковский ярус; 6 – Киевский ярус.

Мезозойская группа: Меловая система. Верхний отдел: 7 – Сантонский ярус; 8 – Коньякский ярус; 9 – Туронский ярус; 10 – Сеноманский ярус.

Палеозойская группа: 11 – Девонская система. Средний отдел. 12 – Силурийская система. Верхний отдел. Протерозойская группа: Верхний протерозой: 13 – Валдайская серия; 14 – Волынская серия; 15 – Осницкий комплекс; 16–18 – магматогенные и метаморфические образования; 19 – нерасчлененные нижне-верхнепротерозойские образования. Кировоградско-житомирский комплекс

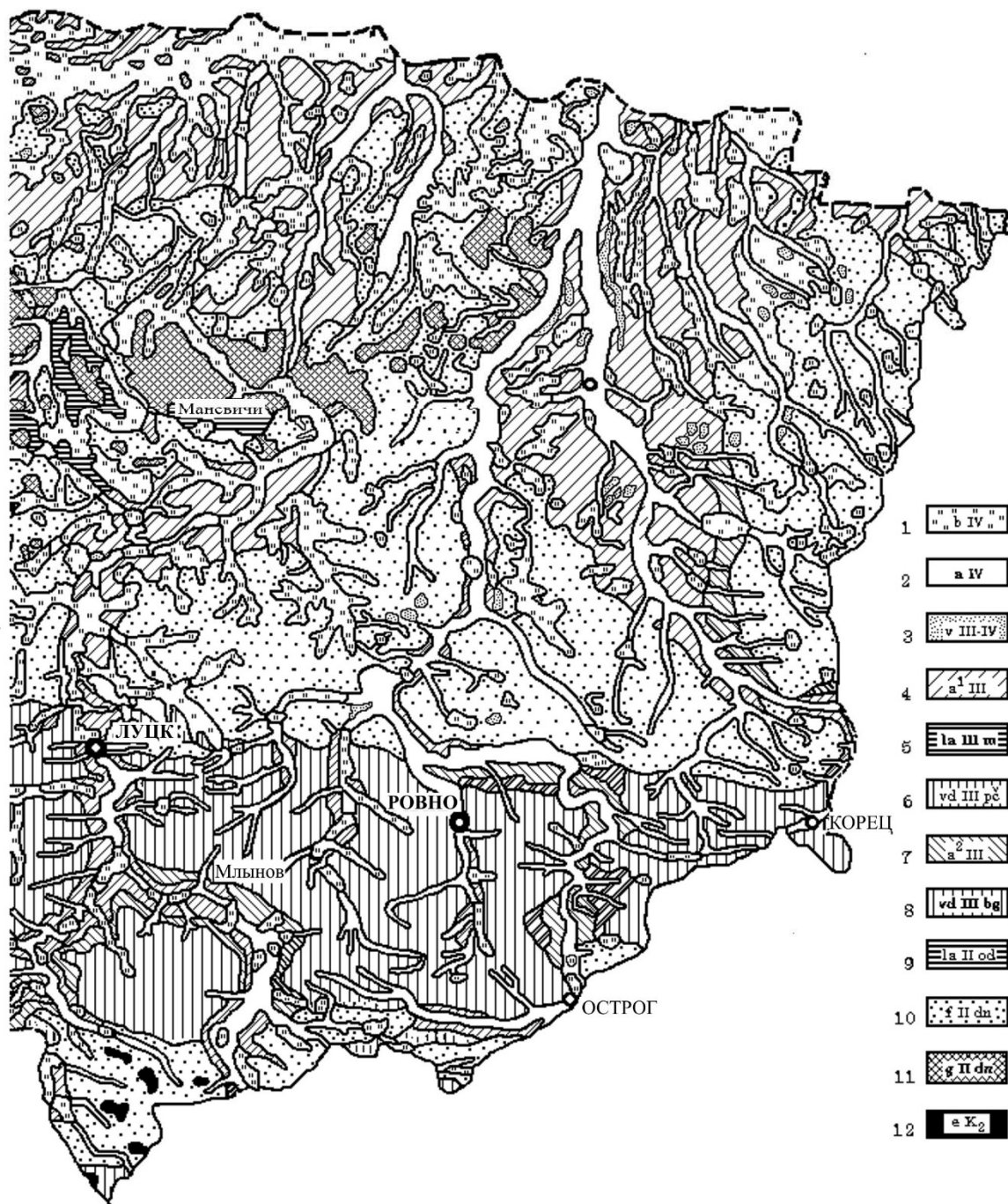


Рис. 9.4. Четвертичные отложения

Современные (голоцен): 1 – болотные образования; 2 – аллювиальные отложения заводей; 3 – нерасчлененные верхнеплейстоценово-голоценовые эоловые образования.

Верхнеплейстоценовые: 4 – аллювиальные отложения первых надпойменных террас; 5 – озерно-аллювиальные образования; 6 – лессовый комплекс. Причерноморский ярус; 7 – аллювиальные отложения вторых надпойменных террас; 8 – лессовый комплекс. Бужский ярус.

Среднеплейстоценовые: 9 – озерно-аллювиальные образования одинцовского времени; 10 – водно-ледниковые отложения днепровского времени; 11 – моренные отложения днепровского времени; 12 – элювий (кора выветривания) верхнемеловых отложений.

9.2. Рельеф

Описываемая территория представляет собой равнину с уклоном на север. Абсолютные высоты изменяются от 372 м (с. Дружба на юге Ровенщины) до 134 м на севере, при выходе Припяти на территорию Беларуси. Несмотря на то, что по средним высотам Западное Полесье является одним из самых низких регионов Украины, здесь прослеживается своеобразная субмеридианальная ярусность поверхности: низменность Волынского Полесья, которая занимает большую часть территории на севере региона, при продвижении на юг постепенно переходит в субширотные полосы Волынской возвышенности, Малого Полесья и северного уступа Подольского плато. Границы между этими ярусами достаточно выразительно прослеживаются в рельефе.

Каждый из упомянутых ярусов характеризуется не только гипсометрическими отличиями, но и своеобразными комплексами рельефа, созданными сложным и длительным взаимодействием внутренних и внешних сил (морфоструктурой и морфоскульптурой рельефа), а следовательно, и спецификой геоморфологических условий увлажнения.

На *Волынском Полесье* среди доминирующих типов рельефа отметим в первую очередь ледниковый рельеф, распространенный в северной части и представленный как собственно ледниковыми формами (краевые образования днепровского ледника в пределах Любомль-Столинской моренной гряды с многочисленными моренными горбами и грядами, разделенными большими или меньшими понижениями), так и флювиогляциальными образованиями, среди которых выделяются наклонные зандровые равнины (Ковельская, Сарненская), поверхность которых часто усложняется поднятием озов и камов, давние проходные долины стока талых вод (открыта А. М. Мариничем прадолина Стырь-Словечна и т. д.) и другие водно-ледниковые формы.

Значительно развит на Волынском Полесье долинный рельеф, то есть формы и типы рельефа, созданные при участии поверхностных вод. По мнению А. М. Маринича, около 45 % современной поверхности Южного Полесья сформировано именно деятельностью поверхностных водотоков. Среди таких образований вспомним прежде всего широкие заболоченные поймы Припяти, Стыри, Горыни, Случа и их притоков, а также обширные площади надпойменных террас (на главных реках региона надежно выделяется, по крайней мере, два террасных уровня).

Большое распространение в современном рельефе Волынского Полесья имеет денудационный рельеф, сформированный преимущественно на карбонатной основе при неглубоком залегании отложений верхнего мела (Турийская, Костопольская денудационные равнины). Интенсивный дочетвертичный размыв обусловил образование здесь многочисленных мелово-мергельных горбов и гряд, разделенных глубокими (порой до 30–50 м) депрессиями поверхности. С высоким положением мела здесь связывается и широкое развитие карстового рельефа, представленного разными по размерам впадинам, часто даже лейками, отдельные из которых заполнены водой (Шацкое и Турийское поозерья на Волини, Белое озеро на Ровенщине и т. д.). Особенно выразительно процессы карстообразования прослеживаются вдоль линий глубинных разломов. Немного по-другому проявляется денудационный рельеф восточной Ровенщины, который формировался на кристаллической основе Украинского щита. Здесь преобладают «гранитные поля», многочисленные останцы и валуны, разделенные замкнутыми понижениями и депрессиями (Рокитновская, Клёсовская равнины). Типичным для Полесской части региона можно считать эоловый рельеф, сформированный на песках разного генезиса (флювиогляциальных, аллювиальных, озерных и т. д.) и представленный отдельными холмиками, параболическими дюнами и грядами высотой до 7–15 м с многочисленными замкнутыми и открытыми впадинами между ними.

В целом поверхность Волынского Полесья представляет собой плоскую, немного волнистую низменность, которая имеет наклон на север к долине р. Припять. Средний наклон этой поверхности составляет лишь 0,00006, что предопределяет очень медленное течение рек, которое, в свою очередь, приводит к плохому естественному дренажу и, как результат, к значительной или сплошной заболоченности территории. Кроме того, поверхность усложнена многочисленными понижениями карстового происхождения, что можно отнести к одному из основных геоморфологических факторов заболочивания территории.

Резко контрастирует с описанной поверхностью Полесья рельеф *Волынской возвышенности*, расположенной на юге Волынской и Ровенской областей. Её северная граница выразительно прослеживается вдоль линии Устилуг – Владимир-Волынский – Затурцы – Торчин – Луцк – Поддубцы – Олыка – Клевань – Тучин, а дальше более условно проводится через Липки и Большие Межиричи на Корец.

Расположенная в пределах ВПП, Волынская возвышенность представляет собой своеобразную геоморфологическую инверсию. Её геологическую основу составляют размытые отложения верхнего

мела, часто перекрытые песчаниками и известняками верхнего сармата. Важнейшей особенностью геологического строения возвышенности является почти сплошное распространение на ней лессов и лессоподобных отложений (суглинков, супесей) в основном делювиально-эоловых, преимущественно средне-верхнечетвертичных *VdIII-III* мощностью до 7–20 м. Именно с развитием неустойчивых к размыву пород лессового комплекса связывается формирование *овражно-балочного рельефа*, который является самым распространенным типом современной поверхности южной части Волынского Полесья и определяет ее общее холмистое, а иногда и грядовое строение.

Значительное место в рельефе Волынской возвышенности занимают глубокооврезанные (70–120 м) корытоподобные долины Стыри, Иквы, Горыни и их притоков с достаточно широкими (до 1,0–2,5 км) и с малыми уклонами, как правило, заболоченными поймами и выразительными комплексами надпойменных террас (надежно выделяются первая и вторая надпойменные террасы, относительно существования фрагментов третьей террасы есть разные взгляды). Именно субмеридианальными долинами Стыри, Иквы и Горыни широтно вытянутая полоса Волынской возвышенности разделяется на несколько своеобразных геоморфологических районов (Гороховская возвышенность, Повчанская структурно-холмистая возвышенность, Мизочский кряж, Гошанское плато и т. д.).

Малым Полесьем принято называть пониженную равнину (205–215 м), которая протягивается в субширотном направлении, разделяя лессовые поднятия Волынской возвышенности и Подольского плато. Образование этой равнины связывается главным образом с тектоническими причинами, причем выделяется участие в рельефообразовании талых ледниковых вод (в первую очередь днепровского ледника), которые направлялись в систему Днестра. Расширенная западная часть (Буго-Стырская задровая равнина) по характеру поверхности напоминает Волынское Полесье – почти однообразная песчаная равнина с многочисленными понижениями и отдельными формами денудационного (на меле) и насаженного эолового рельефа. Невыразительные долины верховьев Западного Буга и Стыри с широкими заболоченными заводами еще больше подчеркивают подобие к ландшафтам Волынского («большого») Полесья. Собственно, это подобие и обусловило название региона. К востоку от долины Иквы Малое Полесье сужается (порой до 2,0–2,5 км) и образует Острожскую проходную долину, которая протягивается к Горыни и дальше, на Шепетовщину, за пределы описываемого региона, и продолжается долиной р. Свитеньки.

Подольская возвышенность заходит на территорию описываемого региона в виде обрыва поднятого северного края Подолья (Вороняки – Голоторо-Кременецкое низкогорье) его ответвлений и эрозийных останцев, сохранных от размыва бронирующим покровом неогеновых известняков и песчаников – г. Цимбал (348 м), Красная (336 м) и др. В частности, именно здесь, на юге Радивиловщины, находятся наивысшие точки Ровенской области и описываемого региона в целом (372–374 м). Для поверхности характерно наличие значительных бессточных понижений карстового происхождения, которые являются одной из предпосылок их заболачивания.

Общее представление о геоморфологической дифференциации региона дают таблица 9.1 и рисунок 9.5.

Таким образом, к основным особенностям рельефа, которые способствуют заболачиванию территории, следует отнести:

1. Исключительно малый уклон поверхности (0,00006) на север, что предопределяет низкую дренажную способность медленнотекущих рек.
2. Осложнение поверхности многочисленными микроформами карстового происхождения (лейки и т. д.), что задерживает часть поверхностного стока.
3. В Малом Полесье заболачиванию способствует наличие широких межрядовых бессточных понижений и незначительный (менее 0,0001) продольный уклон днищ отдельных участков речных долин.

Таблица 9.1

Геоморфологическое районирование территории Ровенщины

Номер на карте	Геоморфологический район	Площадь, тыс. км ²	Абсолютные высоты		Плотность эрозийного расчленения, км/км ²		Глубина эрозийного врез, м	Доминирующие формы и типы современного рельефа	Основные современные геоморфологические процессы
			Макс.	Миним.	Общая	Гидрограф			
Геоморфологическая область Полесской аккумулятивной низменности									
Геоморфологическая подобласть Волянского Полесья									
III	Верхне-Припятская аллювиально-моренная низменность	2,20	157	134	0,0-0,70	0,52	до 5-7	Заболоченные заводи, надпойменные террасы, дюны	Аккумуляция осадков, заболачивание, дефляция.
12	Волянская (Любомль-Столинская) моренная гряда	1,42	186	140	0,1-0,70	0,27	5-30	Моренные горбы, заболоченные депрессии, карст. лейки.	Выборочная эрозия, заболачивание, дефляция, карст
13	Сарненская аккумулятивная равнина	3,98	172	148	0,0-0,50	0,44	5-15	Болота, прадолнины, террасы, дюны.	Заболачивание, дефляция, аккумуляция
14	Костопольская денудационная равнина	1,82	220	155	0,0-0,50	0,38	5-20	Разлогие меловые горбы, болота.	Карстообразование заболачивание
Геоморфологическая подобласть Житомирского Полесья									
115	Клёвская денудационная равнина	2,03	230	144	0,1-0,50	0,39	5-15	Выходы кристаллических пород, болота, дюны	Выветривание, заболачивание
116	Новоград-Волянская денудационная равнина	0,82	242	195	0,1-0,70	0,59	10-40	Выходы кристаллических пород, заболоченные речные долины.	Эрозия, заболачивание
Геоморфологическая область Воляно-Подольской эрозийной равнины									
Геоморфологическая подобласть Волянской возвышенности									
III1	Гороховская возвышенность	0,22	253	183	0,60	0,25	20-50	Широкие балки, разлогие водоразделы.	
III2	Ровенская волнистохолмистая возвышенность:								
	а) Острожская возвышенность;	1,12	277	185	0,3-1,40	0,39	30-10	Радиальные речные долины, балки.	Водная эрозия (преобладание плоскостного смыва, выборочное и локальное оврагообразование),
	б) Ровенское плато;	1,36	308	175	0,2-2,00	0,34	30-10	Балки, четкие долины, местами яры	локальное заболачивание заведой,
	в) Гошанское плато	1,02	235	180	0,0-0,80	0,44	20-80	См. район III1.	просадочность отложений лессового комплекса, суффозия.
III3	Повчанская структурно-холмистая возвышенность	1,04	358	198	0,6-0,80	0,31	40-12	Глубокие балки и долины, старые яры	
III4	Мизочская холмистая возвышенность	1,04	342	190	0,2-0,80	0,3	40-15	Глубокие долины, балки, активные овраги	
Геоморфологическая подобласть Малого Полесья									
IV1	Кременецко-Дубенская задровая равнина	1,04	250	190	0,0-0,20	0,21	7-30	Плоский рельеф, заболоченные долины, порою пески.	Заболачивание, выборочная дефляция и аккумуляция.
IV2	Острожская проходная долина	0,71	245	190	0,1-0,40	0,34	10-80	Болота, золовые и эрозийные останцы	Заболачивание, эрозия.
Геоморфологическая подобласть Подольской возвышенности									
V	Гологоро-Кременецкое низкогорье:								
	а) Радивилловский участок;	0,07	372	232	0,0-0,20	-	80-15	Плоская поверхность, короткие глубокие балки и долины.	Плоскостная (местами линейная) эрозия, суффозия, просадка пород лессового комплекса
	б) Вилля-Свитенское междуречье	0,21	353	220	0,2-0,80	0,32	60-14	Крупные эрозийные останцы, долины.	

Примечания: 1. Площадь отдельных геоморфологических районов приведена в пределах области.

2. Глубина эрозийного расчленения определялась по превышению водоразделов над местными базисами эрозии

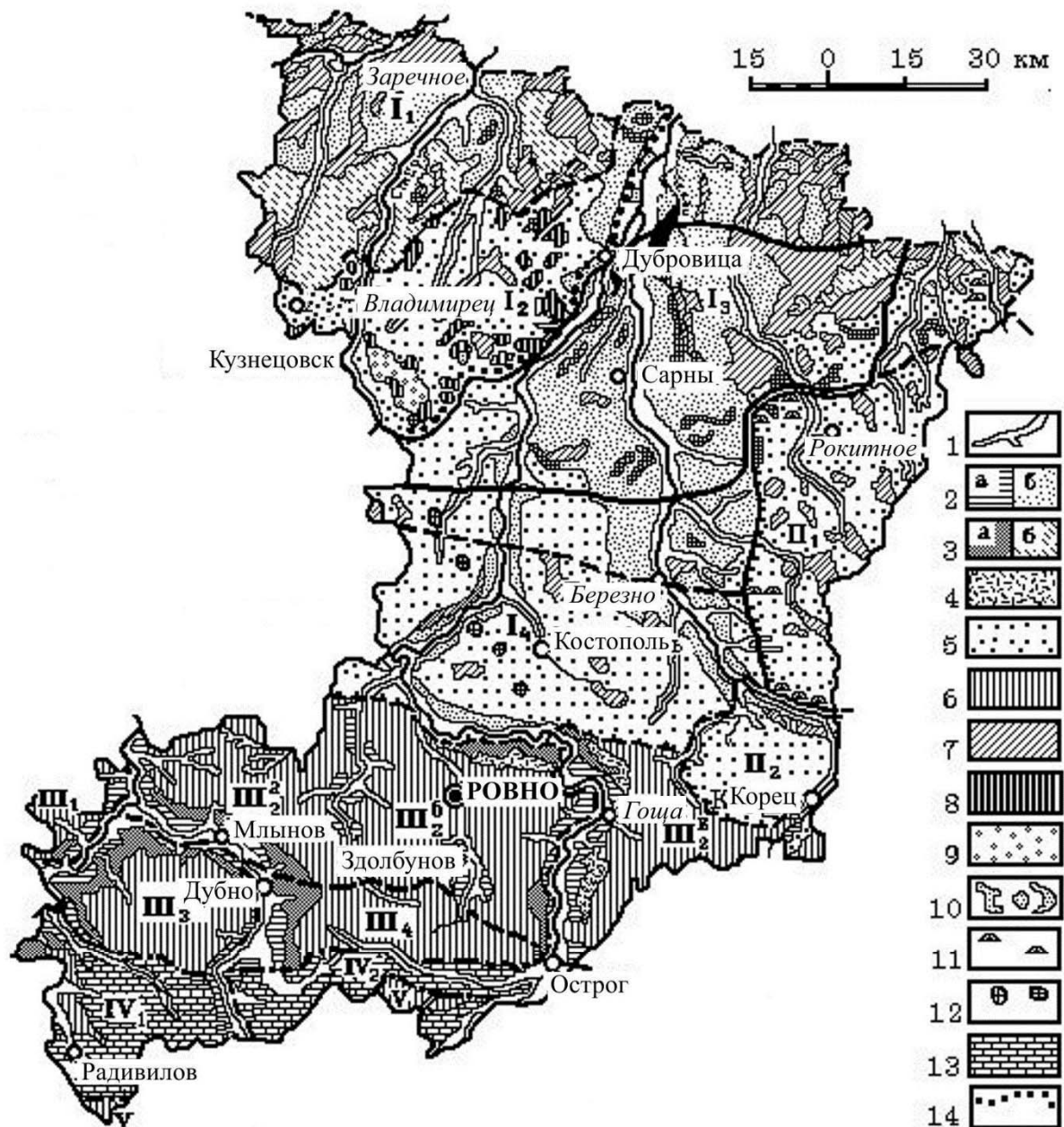


Рис. 9.5. Схематическая геоморфологическая карта

Генетические типы и формы рельефа: 1 – современные поймы; 2 – первые надпойменные террасы: а – с лессовым покровом, б – полесского типа (боровые); 3 – вторые надпойменные террасы: а – с лессовым покровом, б – полесского (припятского) типа; 4 – фрагменты третьей надпойменной террасы Горыни; 5 – зандровые равнины с распространением эоловых и денудационных форм рельефа; 6 – лессовые равнины с распространением водноэрозионных форм рельефа; 7 – торфяники; 8 – остатки конечноморенных образований днепровского ледника; 9 – остатки отложений основной морены днепровского ледника (валунные поля); 10 – эоловые формы рельефа; 11 – денудационные формы рельефа на кристаллической основе; 12 – денудационные формы рельефа на эффузивной основе; 13 – денудационные формы рельефа на меловой основе.

Границы: 14 – днепровского ледника; 15 – прадолины Стырь-Словечна; 16 – Малополесской прадолины; 17 – геоморфологических областей; 18 – геоморфологических подобластей; 19 – геоморфологических районов

9.3. Климат

Климат выступает одним из основных факторов переувлажнения территории Волынского Полесья Украины. Изменения важнейших элементов климата на территории описываемого региона фиксируется системой метеорологических станций, среди которых по полноте и длительности рядов наблюдений следует отметить Ковель, Луцк, Ровно, Сарны, Дубно, Владимир-Волынский. Разнообразные обобщения климатических условий края в разные времена и выполнили А. И. Воейков, И. Е. Бучинский, И. К. Половко, Г. Ф. Прихотько, М. И. Щербань, М. С. Андриянов, О. З. Ревера, Г. Л. Проць-Кравчук и много других исследователей.

Энергетическую основу климата представляет солнечная радиация, многолетний ход которой представлен в таблице 9.2 и на рисунке 9.6. Радиационный баланс региона позитивен (1,43–1,60 МДж/м²), однако на протяжении года он изменяется в достаточно широком диапазоне, предопределяя сезонные, в первую очередь весенне-летние, вариации климатических и погодных условий в разных частях описываемой территории. Вместе с тем тепловой режим региона в значительной степени определяется влиянием подстилающей поверхности (по данным О. З. Реверы, около 89 % радиационного тепла на залесенных и переувлажненных площадях Волынского Полесья тратится на испарение) и особенностями циркуляционных процессов.

Таблица 9.2

Годовой ход суммарной солнечной радиации (верхняя строчка, кДж/см²) и длительности солнечного свечения (нижняя строчка, часы)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
9,24	15,54	32,76	39,9	55,44	61,32	57,54	47,88	35,28	20,16	7,98	6,3
55	67	131	176	232	268	261	243	185	118	45	37

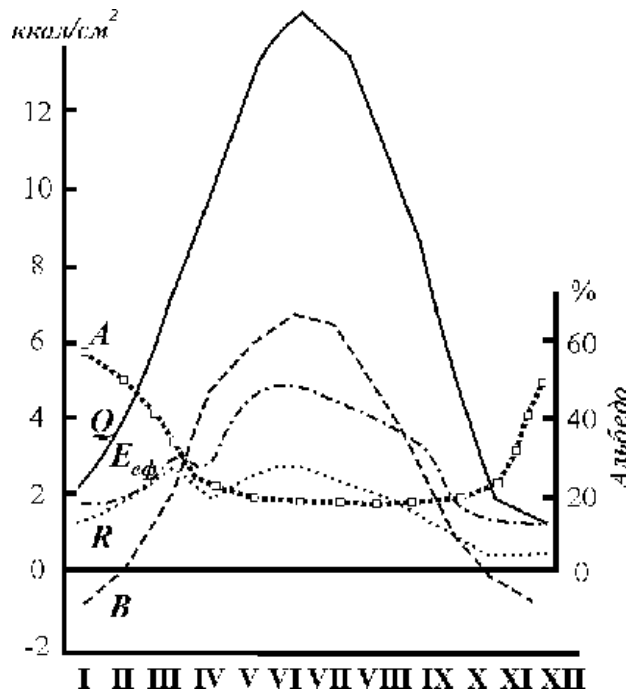


Рис. 9.5. Солнечная радиация на Ровенщине

R – суммарная радиация; Q – отбитая радиация; Eэф – эффективное излучение; B – радиационный баланс; A – альбедо

Располагаясь в зоне западного переноса, описываемая территория находится под переменным влиянием главных барических областей Северного полушария (Исландского и Средиземноморского минимумов, Арктического, Сибирского и Азорского максимумов), воздух которых определяет особенности климатических и погодных условий в разные времена года. Комбинированным влиянием радиационных и циркуляционных процессов и определяется специфика основных элементов климата (в частности, умеренность температурного режима, повышенная влажность воздуха, высокая облачность и т. д.) и их годового хода (табл. 9.3).

С рассмотренных в работе позиций особенное значение имеют общее количество, территориальное и сезонное распределение атмосферных осадков и их соотношение с величинами испарения.

Среднее годовое количество осадков за многолетний период наблюдений составляет от 600 до 700 мм. Обращает на себя внимание тот факт, что укоренившаяся мысль об увеличении количества осадков в поднятой южной части региона далеко не всегда подтверждается материалами натуральных наблюдений (рис. 9.7). Основная масса осадков выпадает в теплый период года (апрель-октябрь) – до 425–475 мм с четко проявляющимся максимумом в июле (80–95 мм).

Таблица 9.3

Средние месячные и годовые показатели влажности воздуха

Показатели / Луна	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
П о л е с ь е (г. Сарни)													
Относительная влажность воздуха, %	84	83	78	71	67	69	71	74	78	82	87	88	78
Дефицит влажности, гПа	0,6	0,8	1,6	3,8	6,2	7,5	7,4	6,3	4,2	2,2	1,0	0,6	3,5
Л е с о с т е п ь (АМСГ г. Ровно)													
Относительная влажность воздуха, %	86	86	82	74	70	71	73	75	77	82	88	89	79
Дефицит влажности, гПа	0,7	0,6	1,2	3,3	5,6	6,6	6,7	6,7	4,2	2,1	0,9	0,6	3,2

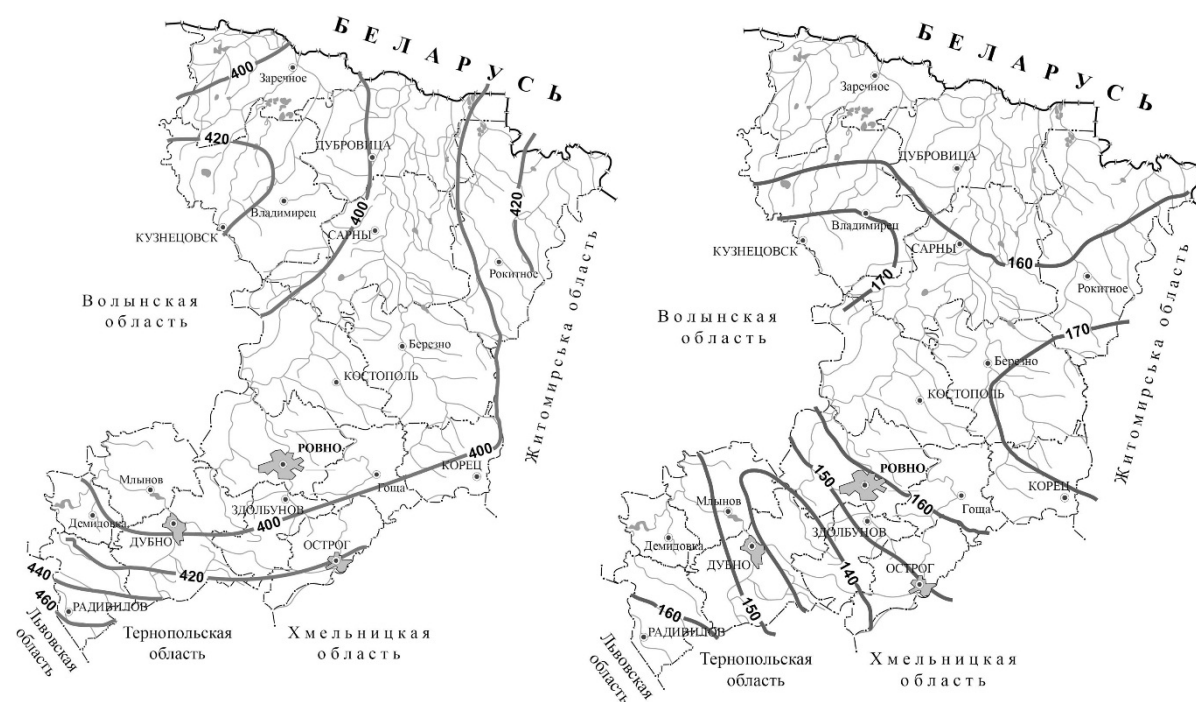


Рис. 9.7. Средняя многолетняя сумма осадков за теплый (А) и холодный (Б) периоды года [34, 36]

В отдельные годы месячное количество осадков достигает 120–170 мм. Специфическим для атмосферного осадкообразования в Западном Полесье является характер выпадения осадков, в первую очередь – частота ливней, когда в течение небольшого промежутка времени может выпасть свыше 100 мм осадков. Эти ливни, как правило, связаны с прохождением атлантических и средиземноморских циклонов и чаще всего наблюдаются в июле-августе, не только проявляясь в катастрофических последствиях для хозяйства, но и формируя значительные излишки поверхностных вод, которые не успевают сбрасываться водотоками и фильтроваться в грунтовую толщу и этим создают условия для переувлажнения территории. Наконец, еще одна особенность климатических условий региона связана с частой повторяемостью осадков: на протяжении года здесь обычно наблюдается 170–180 дней с осадками, слой которых превышает 0,1 мм, а средняя длительность периодов без осадков составляет на севере 3 дня, а на юге – 4 дня.

Подавляющее количество осадков выпадает на территории описываемого региона в жидкой фазе (табл. 9.4). Снежный покров, который устанавливается обычно с третьей декады ноября и длится до конца марта, по большей части неустойчив из-за частых оттепелей, и его средняя толщина не превышает в январе-феврале 6–9 см на севере (табл. 9.5) и 12–14 см на юге.

Основными климатическими факторами, которые вызывают заболачивание территории и усложняют эксплуатацию мелиоративных систем, можно назвать:

1. Значительное количество атмосферных осадков (600–700 мм), большая часть которых (до 750 мм и больше) выпадает в теплый период года.
2. Превышение суммы атмосферных осадков над испаряемостью, которая не превышает 400–450 мм.
3. Выпадение атмосферных осадков в виде ливней, с общей суммой 100 мм и больше.

Таблица 9.4

Среднее месячное и годовое количество осадков за многолетний период, мм

Виды осадков	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
П о л е с ь е (г. Сарны)													
* Жидкие	8	6	7	33	62	84	78	71	56	48	33	14	500
* Твердые	17	18	12	1	-	-	-	-	-	1	3	13	65
* Смешанные	11	11	11	9	1	-	-	-	-	2	10	13	68
Р а з о м	36	35	30	43	63	84	78	71	56	51	46	40	633
Л е с о с т е п ь (АМСГ г. Ровно)													
* Жидкие	4	5	7	36	57	74	84	74	54	38	28	9	470
* Твердые	18	17	11	2	-	-	-	-	-	1	5	15	69
* Смешанные	9	10	11	9	2	-	-	-	1	6	10	16	74
В м е с т е	31	32	29	47	59	74	84	74	55	45	43	40	613

Таблица 9.5

Декадная высота снежного покрова (г. Сарны), мм

Месяц	Ноябрь	Декабрь			Январь			Февраль			Наибольшая за зиму	
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	Средн.	Макс.
Декада	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III		
Средняя	1	2	3	3	6	8	9	9	9	9	16	39
Наибольшая	5	7	11	13	25	34	39	32	32	33	-	-

9.4. Гидрографическая сеть и ее гидрологический режим

Относительно высокое увлажнение описываемой территории предопределено не столько чрезмерным количеством атмосферных осадков, сколько стабильным преобладанием осадков над испарением. Это в благоприятных условиях равнинного рельефа является одним из решающих факторов формирования густой и разнообразной сети поверхностных вод, представленных многочисленными реками, каналами, естественными и искусственными водоемами и болотами.

Всего в пределах территории насчитывается 170 рек, общая длина которых составляет 4,46 тыс. км. Кроме того, на описываемой территории протекает 1204 небольших водотока – ручья (длиной от 0,5 до 10 км) общей протяженностью свыше 3,29 тыс. км. Все они принадлежат к бассейну правого притока Днепра – реки Припять. Главными артериями поверхностного стока является собственно Припять, хотя она протекает на сравнительно небольшом расстоянии (20 км) по северо-западной окраине Волынского Полесья, а также ее правые притоки – Стырь с Иквой и Горынь со Случом. Они берут свое начало за пределами территории и протекают в субмеридианальном направлении, которое определяется общим уклоном поверхности с юга на север. Лишь на отдельных участках Случа, Иквы и особенно Горыни в среднем течении, соответствуя структурно-геологическим особенностям территории, приобретают субширотное направление. Эти главные реки области принимают справа и слева многочисленные притоки, которые по большей части ориентированы в широтном направлении (исключения составляют лишь отдельные притоки Горыни и Случа: Стубелка, Устья, Мельница, Пруды и некоторые другие).

Плотность гидрографического расчленения территории в определенной степени отображает общий природный фон: на юге он более высок (0,25–0,35, порой до 0,53 км/км²), на севере снижается (0,15–0,22 км/км²).

Размещение области в пределах двух естественных зон отражается как в особенностях морфологии долин, так и в гидрологических характеристиках постоянных водотоков. Если на юге преобладают четко очерченные, глубоко врезанные (30–50 м, иногда до 100–120 м) суженные корытоподобные долины, то на севере, на Полесье, глубина вреза долин не превышает 5–20 м, а сама выразительность долин постепенно теряется. Соответственно изменяется и скорость течения рек: на юге, где падение водотоков достигает 1,0–1,5 м/км и даже 3,0–5,0 м/км, скорость течения воды превышает 0,5–1,2 м/с, в то время как на Полесье из-за незначительных уклонов поверхности (0,3–0,6 м/км) те-

чение заметно замедляется, в руслах рек растет аккумуляция осадков (аллювия), которая увеличивает извилистость водотока и способствует образованию на широких низких заводах многочисленных меандр и стариц.

Питание рек территории в целом определяется как смешанное с преобладанием снежного. Талые снежные воды полесских рек составляют 55–65 % годового стока, а в лесостепной части они не превышают 25–45 % и часто уравниваются или даже уступают подземному питанию. Подземное питание на Волынской возвышенности составляет 35–45 %, а для отдельных рек поднимается до 49 % (р. Виляя) и даже иногда до 64 % (р. Иква). В Полесье подземными водами формируется лишь 8–20 % годового стока. Важное место в питании рек области занимают дождевые воды, доля которых в формировании поверхностного стока в разные годы меняется.

Особенности питания водотоков в полесской и лесостепной частях области определяются различиями годового хода уровней воды и основных характеристик стока, а также расположением территории Ровенщины в двух разных гидрологических районах – Западнополесском и Волынском (рис. 9.8). В годовом ходе *уровней воды* на реках области прослеживается определенная закономерность: интенсивное поднятие их весной (во время наводнения) сменяется заметным снижением летом и зимой (межень), причем уровни зимней межени почти всегда устанавливаются выше, чем летней. Меженный ход уровней прерывается кратковременными подъемами во время летних и осенних дождевых паводков.

Паводковые поднятия уровней связываются с интенсивными дождями, часто – с ливнями, которые выпадают преимущественно во второй половине лета и осенью. Паводковые уровни отличаются кратковременностью и редко достигают максимальных уровней паводковых вод (уникальные паводки на отдельных реках области зафиксированы в 1924, 1940, 1948, 1955, 1956, 1958 гг. и в течение ряда других лет, среди них и в 1993 г.).

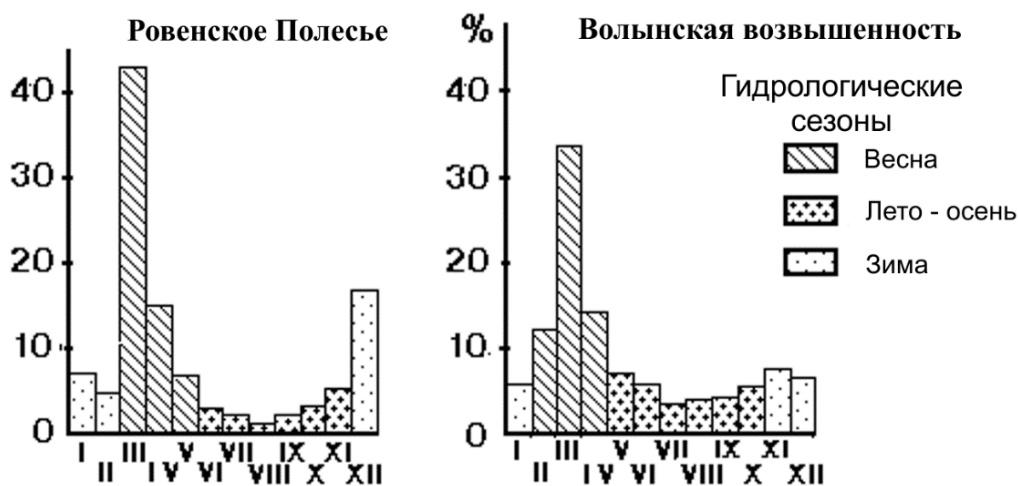


Рис. 9.6. Распределение годового поверхностного стока по гидрологическим районам (средний по водности год)

Годовая амплитуда колебания уровней на малых реках области за многолетний период наблюдений составляет 0,7–2,6 м, достигая в отдельные годы максимума (4,8 м). На основных водных артериях Ровенщины средние амплитуды уровней воды на протяжении года составляют 1,1–3,2 м, достигая иногда экстремальных значений (5–6 м). Однако следует иметь в виду, что амплитуды колебания уровней часто зависят от морфологических особенностей русла и поймы на участке реки, где расположен наблюдательный пункт (водомерный или гидрометрический пост).

Систематические гидрометрические наблюдения в течение длительного времени проводятся на основных реках области – Стыри (с. Мельница Заречненского района), Горыни (села Оженин, Деражное, г. Дубровица), Случа (г. Сарны), Льве (с. Осницк), а также на некоторых малых водотоках, в частности на р. Вырка (с. Сварыны Владимирецкого района), на р. Устья (с. Корнин).

Упомянутыми постами зафиксированы критические уровни воды на объектах наблюдений, превышение которых несет реальную угрозу народному хозяйству и населению края. Среди критических уровней выделяют три основных категории: уровни, при достижении которых затопливается пойма; уровни, которые сопровождаются затоплением отдельных населенных пунктов или их частей; наконец, уровни, которые соответствуют стихийным явлениям, то есть своеобразным гидрологическим катастрофам.

Сток воды является важнейшей гидрологической характеристикой, которая через систему разных показателей позволяет оценить не только водность того или другого водотока (затрата воды в реке), но и количественно выразить условия водообразования на всей площади водосбора и его влияние на мелиорируемые земли (слой стока, модуль стока). Сток формируется под воздействием комплекса самых разнообразных естественных и хозяйственных факторов – климата, геологического строения, геоморфологических и гидрогеологических условий, лесистости, заболачивания, степени распаханности, гидротехнических мелиораций, и тому подобное (рис. 9.9).

Климатические условия, которые определяют водность рек, в первую очередь соотношение атмосферных осадков и испарения, по территории области изменяются мало, в связи с чем они влияют не столько на внутриобластные отличия в формировании поверхностного стока, сколько отражаются во временном измерении, то есть через многолетние и сезонные колебания стока (табл. 9.6).

Таблица 9.6

Распределение стока рек по сезонами, %

Водность года \ Сезоны	Весна	Лето	Осень	Зима
	III–V	VI–VIII	IX–XI	XII–II
Реки Полесской части области				
Многоводный	51,0	8,3	11,7	29,0
Средний	62,1	3,9	7,6	26,4
Маловодный	79,2	3,2	7,6	10,0
Очень маловодный	83,2	3,3	5,0	8,5
Реки лесостепной части области				
Многоводный	50,3	13,8	12,4	23,5
Средний	52,4	10,6	15,1	21,8
Маловодный	55,0	10,1	16,2	18,7
Очень маловодный	59,6	8,7	15,2	16,5

Из приведенной таблицы видно, что на полесских реках в среднем по водности года на весну приходится 50–70 % стока, на летне-осенний период – 10–15 %, а на зиму – 15–30 %, в то время как в лесостепной части области за счет более интенсивного подземного питания заметно растет часть стока в летне-осенний период. На основных водных артериях области максимальные расходы наблюдаются во время весеннего наводнения, а малые реки больше всего воды несут во время ливневых паводков летне-осеннего периода. Такие паводки в большинстве своем имеют локальный характер, поскольку ливни охватывают сравнительно небольшие площади. Однако в отдельные годы паводки приобретают катастрофический характер.

Характерным для Полесья был паводок в 19–24.07.1993, когда в результате длительных дождей с суточными суммами 40–50 мм, уровни воды в реках области поднялись по меньшей мере на 1,5–2,0 м (местами до 3,0–3,5 м). Вода затопила поймы, а в низинных районах Полесья поднялась выше уровня поймы, затопив 135 тыс. га сельскохозяйственных угодий, разрушив и повредив 680 производственных и хозяйственных помещений, 4470 жилых домов. В северных районах области было разрушено 220 гидромелиоративных систем и водохозяйственных объектов, снесены и разрушены деревянные мосты, размыто свыше 30 км подъездных и эксплуатационных дорог. Погибли сотни голов скота, а главное – не обошлось и без человеческих жертв.

Катастрофические последствия паводка в значительной степени предопределены осушительными мелиорациями. Сформированный на осушенных землях подпахотный переуплотненный горизонт увеличил коэффициент максимального стока, а сеть открытых дренажей способствовала быстрому сбросу дождевых вод в речную сеть.

Начало летней межени приходится на май – начало июня, а заканчивается она в третьей декаде октября. Общая длительность летнего меженного периода на реках области обычно составляет 130–160 дней (в наиболее маловодный период – 15–35 дней).

Твердый сток (сток наносов) рек области связан с эрозийной деятельностью склонового смыва, временных и постоянных водотоков, а следовательно, прямо предопределяется водностью потоков, их кинетической энергией, характером осадков, особенностями рельефа. На протяжении года мутность воды изменяется в широком диапазоне. Наивысшая она во время наводнений и паводков, достигает 400–800 г/м³ на главных реках области и до 1000 г/м² на малых реках. Именно весной на Горыни, Стыри, Случи переносится 50–70 % годового стока наносов, а на отдельных их притоках – до 80–95 %. После осушения и распаханности осушенных земель твердый сток значительно увеличился на больших реках во время наводнения до 900–1000 г/м³, на малых реках до 1300–1500 г/м³.

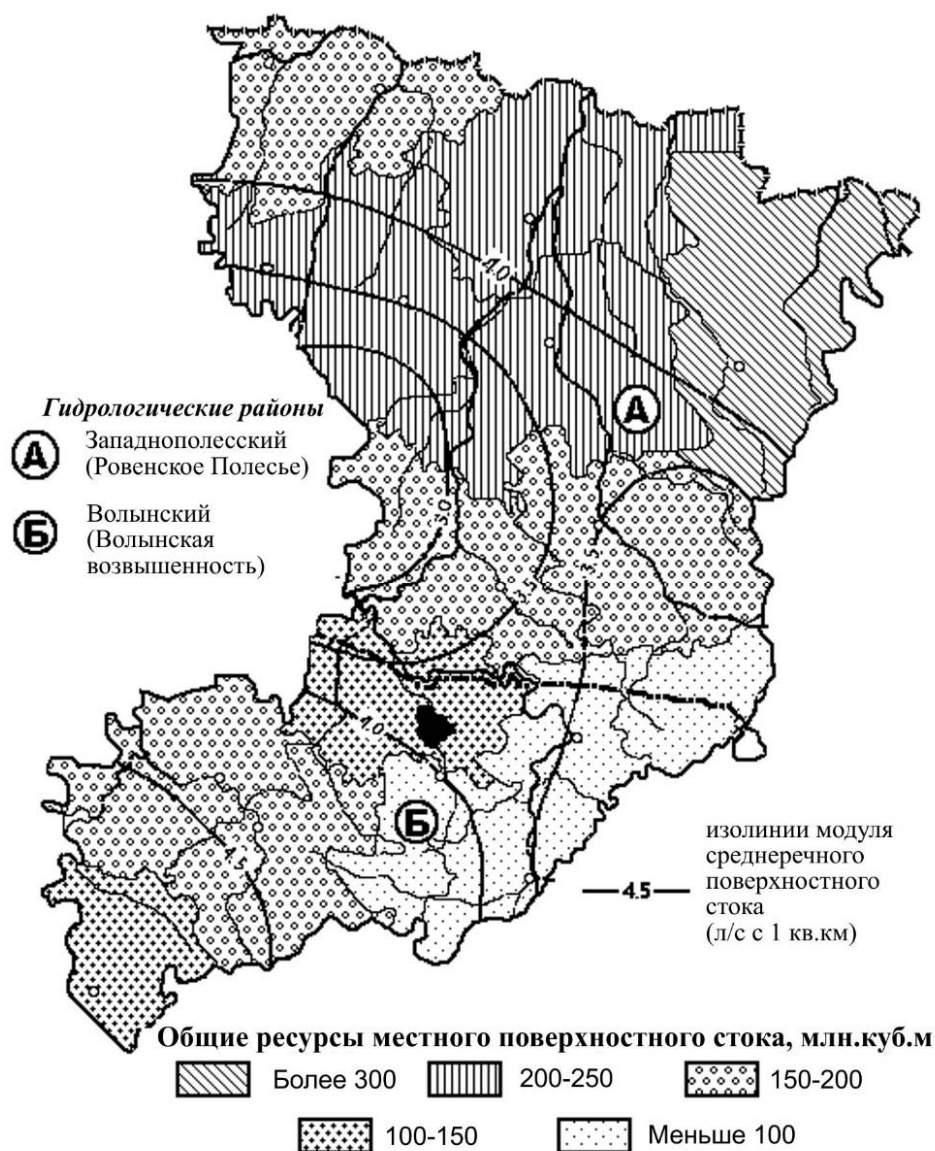


Рис. 9.9. Общие ресурсы местного поверхностного стока

В результате проведения осушительных мелиораций в рисунке гидрографической сети и ее гидрологическом режиме произошли существенные изменения, которые влияют на эколого-географическое состояние мелиорируемых земель. Проведенные крупномасштабные топографические съемки в начале 50-х годов и наши маршрутные обследования позволили получить количественные данные о трансформации речной сети. При этом выявлена общая тенденция к постоянному сокращению естественной русловой сети. Оно имеет место как в речных бассейнах, где не проводилось осушение, так и в бассейнах интенсивного осушения. Основными причинами этого являются природные и в основном антропогенные факторы.

К первым следует отнести резкое понижение напорных уровней первого от поверхности напорного туронского горизонта верхнего мела [K₂l]. Это понижение привело к уменьшению количества многочисленных в прошлом восходящих источников и связанных с ними водотоков.

Второй причиной деградации речной сети является понижение уровней грунтовых вод осушаемых земель. Благодаря вновь созданной зоне аэрации сглаживаются небольшие летние паводки, а при отсутствии атмосферных осадков в течение 15–20 суток, что часто имеет место, верхняя часть водотоков, как правило, пересыхает.

Третьей, основной причиной деградации речной сети, является увеличение твердого стока в результате мелиорации и распашанности мелиорируемых земель, что приводит к заилению естественной русловой сети. За последние 45–50 лет скорость деградации речной сети малых рек региона в зависимости от соотношения зональных и локальных факторов находилась в пределах от долей метра за год до 10–15 м/год, в среднем на большинстве рек 1,0–1,5 м/год.

В результате деградации и заиления речной сети значительно уменьшилась ее пропускная способность, которая отрицательно влияет на их общее экологическое положение. При формировании летних дождевых паводков, что часто бывает в регионе, уменьшение пропускной способности русел приводит к длительному затоплению и подтоплению значительных площадей. В свою очередь, длительное затопление с одновременным прогреванием воды сопровождается разложением растительности, которое может иметь катастрофические последствия. Подтверждением сказанному может служить дождевой паводок, который сформировался в бассейне р. Уж (приток Припяти) в последней декаде июля 1998 г. в результате выпадения интенсивных и длительных дождей. Во время паводка вода затопила значительные площади пойменных лугов. С наступлением высоких температур воздуха вода прогрелась до 25–30 °С, и затопленная растительность начала быстро разлагаться, что привело к снижению растворимого в воде кислорода практически до нуля. И как следствие – полная гибель всего живого в р. Уж и ее притоках, погиб даже планктон.

Таким образом, в результате проведенных осушительных мелиораций речная сеть и ее гидрологический режим испытали существенные изменения, которые заключаются в следующем: значительно увеличилась дренажная способность территории за счет густой системы открытых и закрытых дренажей, которая может увеличивать расходы катастрофических летних паводков, выравнивая и увеличивая меженные стоки.

В то же время значительно деградировала естественная речная система, которая восстанавливается при ливневых атмосферных осадках, что значительно увеличивает речной сток. В свою очередь, это приводит к заилению естественных и искусственных русел и задержке части стока на отдельных участках осушаемых земель, что значительно ухудшает экологическое состояние и приводит к вторичному заболачиванию.

Изменился и химический состав речных вод. Если сравнить современный химический состав с химическим составом речных вод в 1948 г. (зафиксированных общенациональной гидрохимической съемкой под руководством А. Д. Коненко), то общая минерализация речных вод увеличилась с 0,2–0,4 г/дм³ до 0,5–0,8 г/дм³. Это увеличение предопределено увеличением содержания в воде сульфатов с 25–30 мг/дм³ до 100–120 мг/дм³ и хлоридов с 15–20 мг/дм³ до 70–80 мг/дм³. Основным источником этих соединений являются составляющие минеральных удобрений, а также разложения органической составляющей торфов и оторфовывания почв. Увеличилось и содержание тяжелых металлов.

Характерной чертой природы Ровенщины является наличие значительного количества естественных и искусственных водоемов – озер, водохранилищ, прудов.

Озера. Согласно последним данным, в области насчитывается 52 озера, площадь водного зеркала которых составляет более 1 га. Общая площадь этих естественных водоемов равна 266,25 км², а суммарный объем воды в них достигает почти 131 млн м³. Все озера сосредоточены в Полесской части области. Кроме того, в долинах крупных рек (в том числе в пределах Волынской возвышенности) насчитывается около 750 пойменных и старичных водоемов, площадь которых, как и очертания берегов и водозапасы, может изменяться от года к году в достаточно значительных пределах. Даже количество таких озер определяется приблизительно, поскольку в засушливые годы они могут совсем исчезать. Однако и сбрасывать эти малые озера со счетов тоже не следует, учитывая, что вокруг них формируется своеобразная пойменная экосистема, а кроме того, они выступают в качестве важного регулятора поверхностного стока, в первую очередь половодья и паводка.

Именно пойменные озера представляют самую многочисленную генетическую группу естественных водоемов Ровенской области. По большей части такие «речные» озера проточные, а часто и вообще размещаются непосредственно на русле главного водотока (оз. Нобель на Припяти, оз. Верхнее на Льве и др.). Вторую большую группу естественных водоемов в области представляют карстовые озера, впадины которых образовались в результате растворительной (размывной) деятельности подземных вод в карбонатных породах (главным образом в меле). Такие озера отличаются большими глубинами, стабильностью подземного питания, высоким качеством воды. По большей части они имеют достаточно правильные геометрические очертания (круг, овал) и часто бывают бессточными (озера Белое, Островское, Воронки и др.). Карстовые озера распространены чаще в северо-западной части области, где меловой фундамент залегает аномально высоко и подходит близко к поверхности. Сомнительным является выделение в области озер ледникового и эолового происхождения, о чем можно найти упоминания в учебной и даже научной литературе, к сожалению, не подтвержденное геоморфологическим и геологическим материалом. На наш взгляд, такие озера целесообразно относить к природным водоемам смешанного или неопределенного генезиса.

Водохранилища представляют собой искусственные водоемы, которые создаются при сооружении водоподпорной плотины в долине реки и предназначены по большей части для комплексного

использования. Среди крупных водохранилищ в пределах территории вспомним Хренницкое на р. Стырь и Млыновское на р. Иква (Млыновский район), Новомалинское на р. Свитенька (Острожский район), Боберское на р. Бобр (Березновский район). При этом подчеркнем, что наибольшее водохранилище Ровенщины (Хренницкое) в 1989 г. было временно опорожнено в связи с необходимостью серьезного ремонта подпорной плотины, под которой начали развиваться карстовые процессы.

Пруды – самая многочисленная группа сравнительно небольших искусственных водоемов, которые создаются с самыми разнообразными целями (рыборазведение, водоснабжение, борьба с эрозией, регулирование поверхностного стока и т. п.). Пруды занимают площадь около 64 км² и аккумулируют 74,3 млн м³ воды. Особенно распространены пруды рыбохозяйственного назначения, которые принадлежат областному рыбокомбинату, объединению «Ровнолес», коллективным сельскохозяйственным предприятиям и целому ряду отдельных учреждений, предприятий и организаций, физическим лицам. Отдельные группы нагульных, выростных и других рыбохозяйственных прудов создавались еще до 1939 г. (рыбучастки «Понебель», «Кривичи», «Новожуков»), но наибольшие прудовые группы были созданы в последние годы. Глубина прудов редко превышает 1,0–1,3 м, что требует значительных эксплуатационных расходов на поддержание их жизнедеятельности. Именно поэтому большое количество прудов находится в запущенном состоянии, водоемы заиливаются и заболачиваются, особенно после проведения осушительных мелиораций, а в конечном итоге и полностью прекращают свое существование. Надо отметить, что в этих водоемах содержатся значительные запасы сапропеля, которые могут быть использованы в качестве ценного комбинированного удобрения.

9.5. Подземные воды

Описанные выше структурно-геологические «этажи» обусловили существование, по крайней мере, трех ярусов подземных водоносных горизонтов.

Верхний ярус составляют преимущественно ненапорные горизонты грунтовых вод, связанные с кайнозойскими (палеогеном, неогеновым и особенно четвертичным) отложениями, а порой и с выходами к дневной поверхности более давних геологических образований. *Второй ярус* составляют воды, которые циркулируют по трещинам мелово-мергельной толщи верхнего мела. Наконец, *третий ярус* образуют напорные воды, связанные с моноклинальными пластами рифей-девонского возраста. Эти ярусы разделены между собой достаточно выдержанными по площади водоупорными слоями, и только через локальные разрывы и «окна» в водоупорах осуществляются водообмен и подпитка тех или других водоносных горизонтов, каждый из которых отличается характером водовмещающих пород, гидродинамическими особенностями и гидрохимическим составом. Особенное место занимают подземные воды, которые циркулируют в трещиноватых кристаллических образованиях нижнего протерозоя.

По особенностям гидрогеологии территория расположена в пределах *трех артезианских бассейнов*: Вольно-Подольского, Припятского и Украинского бассейнов трещиноватых вод, связанных с соответствующими тектоническими структурами.

Массовые осушительные мелиорации повлияли в основном на грунтовые воды и на первый от поверхности напорный туронский водоносный горизонт (*K₂t*). Более глубокие горизонты испытали незначительное влияние.

9.5.1. Верхний водоносный ярус (грунтовые воды). Грунтовые воды расположены в первом от поверхности подземном водоносном горизонте, который находится на всей территории области, активно влияя на ландшафтные и гидрологические особенности региона (питание рек и водоемов, заболачивание и т. д.) и широко используется для бытовых потребностей населения (неглубокие колодцы и др.).

Питание грунтовых вод происходит преимущественно за счет инфильтрации (пропитки) атмосферных осадков, в меньшей степени за счет паводковых вод. Местами эти воды подпитываются благодаря перетеканию вод из более глубоких (напорных) водоносных горизонтов через «окна» в водоупорных слоях, которые подстилают грунтовую водоносную толщу.

Грунтовые воды сосредоточены главным образом в четвертичной толще (рис. 9.10), где практически отсутствуют выдержанные по площади и мощности водоупорные пласты. Благодаря этому все водоносные горизонты в четвертичных отложениях гидравлически связаны между собой и, по существу, образуют единую систему ненапорных вод, независимую от генезиса и возраста водовмещающих пород.

И все же в области прослеживаются определенные гидродинамические и гидрохимические отличия грунтовых вод, распространенных в разных по условиям образования, строению и составу четвертичных наслоений.

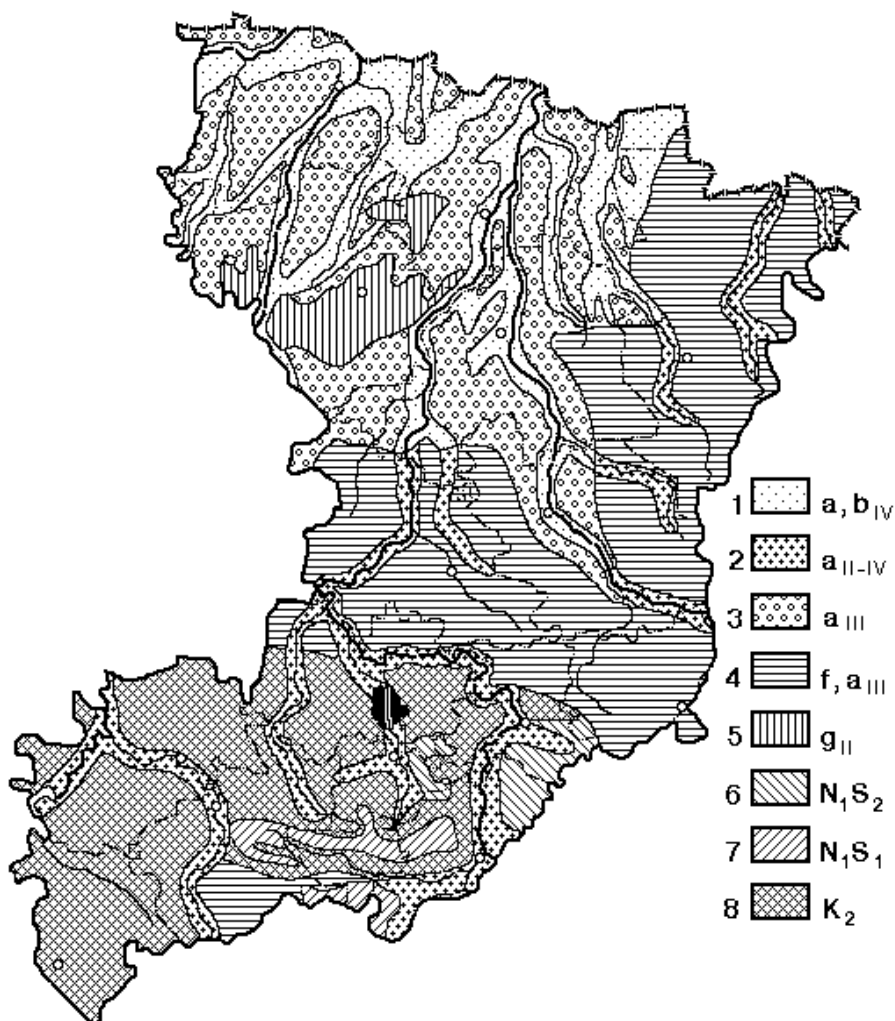


Рис. 9.10. Карта распространения грунтовых вод
(по М. Будзу и Я. Новосаду, 1988)

Воды современных озерно-болотных отложений особенно развиты в северной части области, где водонасыщенные болотные массивы занимают до 37 % площади. В лесостепи они встречаются лишь на отдельных участках речных пойм. Водосодержащими породами выступают торфы разной степени разложения, которые подстилаются тонкими и мелкими песками, иногда супесями. Глубины залегания уровней грунтовых вод в период паводков изменяются с 0,0–0,2 м на неосушенных массивах до 0,5–1,2 м на осушенных землях. При этом поверхность грунтовых вод на осушенных землях отличается сложной конфигурацией поверхности, что определяется литологической пестротой грунтовых болотных отложений. Здесь встречаются переосушенные и переувлажненные (недоосушенные) участки.

Воды современных аллювиальных отложений распространены на всей территории области в пределах речных заводей. Водосодержащие породы – пески, порой с прослойками и линзами супесей, суглинков и даже глин. Среди русловых фаций встречаются линзы гравия. Мощность водоносного горизонта 1–4 м (в приустьевых участках главных притоков Припяти – до 6 м) и они гидравлически связаны с перекрывающими озерно-болотными и подстилающими водами первых надпойменных террас.

Водоносный горизонт первых надпойменных террас распространен главным образом в долине Припяти и ее крупных притоков. Лишь в пределах заводей он перекрывается современным аллювием. Глубины залегания в естественных условиях составляют 0,5–0,8 м от поверхности. На осушенных землях глубина увеличивается до 1,0–1,5 м и больше. Как и на болотных отложениях, поверхность грунтовых вод на осушенных участках имеет сложную конфигурацию, что затрудняет использование этих земель для сельскохозяйственного производства.

Водоносный горизонт вторых надпойменных террас встречается фрагментарно в южной части области (долины Горыни, Стиря, Иквы). В качестве водосодержащих пород выступают аллювиальные мелкие пески и супеси мощностью до 15 м. Уровни грунтовых вод находятся на глубинах 2,5–6,0 м.

Широкое развитие имеют *грунтовые воды флювиогляциальных отложений днепровского оледенения* [$f_{II-III} dn$], которыми созданы четвертичные покрытия междуречий в северной части области. Они представлены неокругленными разнозернистыми песками с линзами озерно-болотных отложений, мощность которых до 12 м и больше, почти такая мощность водоносного горизонта до осушения. Глубина уровней грунтовых вод до осушения 0,2–0,5 м, местами на дюнных образованиях до 3–5 м. После осушения уровни воды снизились до 1,5–2,0 м, в то же время на озерно-болотных отложениях они снизились до глубины 0,5–0,8 м. В целом на большей части аллювиально-флювиогляциальных отложений прослеживается переосушение. В этом случае, по нашему мнению, есть смысл использовать на этих местностях рассадку сосновой растительности, а именно сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris*).

По *химическому составу* все горизонты грунтовых вод близки между собой, а отличия предопределяются лишь местным влиянием тех или иных экзогенных факторов. Основное влияние на формирование химизма грунтовых вод имеют напорные воды верхнемелового водоносного комплекса, а также поверхностные воды, которыми питаются все без исключения почвенные горизонты.

Химический состав грунтовых вод достаточно однообразен. Большею частью под осушение попали гидрокарбонатно-кальциевые воды (воды небольшой минерализации порядка 0,3–0,5 г/дм³), кальциево-магниевые воды с минерализацией до 1 г/дм³. После осушения химический состав стал более разнообразным. Вместе с гидрокарбонатно-кальциевыми появились сульфатно-натриевые, сульфатно-хлоридно-натриевые воды, которые значительно распространились, и общая минерализация их достигает 1 г/дм³ и более. Наименьшую минерализацию (0,3–0,5 г/дм³) имеют проточные воды аллювиальных отложений, а высокая минерализация фиксируется в пределах замкнутых депрессий поверхности (Полесье) и на слабо дренируемых участках суглинистых водоразделов в южной части территории (0,9–1,2 г/дм³).

9.5.2. Межпластовые артезианские воды. Наибольшую антропогенную нагрузку, в том числе и от осушения, испытали первые от поверхности напорные воды туронского горизонта верхнего мела [K_2t]. Водосодержащими породами этого горизонта являются трещиноватые зоны мела и мергелей, которые достигают глубины 70–100 м. Нижним водоупором этого горизонта служит монолитная зона указанных пород, а верхним – элювиальный горизонт мела, который имеет пластичную консистенцию и мощность до 5–6 м. Питание горизонта проходит в основном в пределах Воыно-Подольской возвышенности на позитивных формах рельефа, где элювиальный слой отсутствует и трещиноватая зона выходит в подошву грунтового горизонта или прямо на поверхность.

Пьезометрические уровни этого горизонта устанавливались на глубинах 3–5 м, а в долинах рек на 1,5–2,0 м над данной поверхностью. В последние десятилетия (начиная с 60-х годов) этот горизонт испытывает интенсивную антропогенную нагрузку и значительное истощение. Только для водоснабжения населенных пунктов Ровно, Луцка и районных центров из горизонта круглосуточно отбирается 180–210 тыс. м³.

Значительную роль в истощении горизонта сыграло осушение пойм рек на переуглубленных участках речных долин, где нередко имеет место разгрузка напорных вод в почву. Понижение уровней грунтовых вод относительно пьезометрических уровней обусловило значительное увеличение подтоков напорных вод в почву, которое согласно нашим расчетам достигло в пределах региона 35–40 тыс. м³.

В последние десятилетия ухудшились и условия питания горизонта. Они благоприятны, когда зимы многоснежны и формируется весеннее половодье, а в весенние месяцы выпадает достаточное количество осадков. Глобальное потепление привело к нарушению режима выпадения атмосферных осадков. Большинство зим в последние годы малоснежны с частыми оттепелями, после которых наступают весенние месяцы (март, апрель и первая половина мая) с месячными суммами осадков значительно ниже нормы.

Годовые суммы осадков, близкие к норме, поддерживаются чрезмерными осадками в июне, июле, в отдельные годы в августе. Наблюдения на водобалансовых площадках показывают, что в такие годы инфильтрационное питание подземных вод напорного туронского горизонта верхнего мела (K_2t), распространенное в пределах описываемой территории, составляет всего 20–25 % от нормы. В целом указанный горизонт в результате таких метеорологических условий недополучает в год от 70–80 до 130–150 мм инфильтрационного питания.

По химическому составу эти воды пресные (минерализация редко превышает 0,25–0,60 г/дм³), гидрокарбонатные (иногда сульфатно-гидрокарбонатные), кальциевые или натриево-кальциевые. Воды умеренно твердые. По содержанию свободного воздуха – нейтральные. С учетом качественных показателей верхнемеловые воды широко используются для хозяйственных и бытовых нужд.

9.6. Почвенный покров и изменения его свойств в результате гидромелиораций

Сложные природные условия территории и, в первую очередь, разнообразие приповерхностных геологических образований («материнских пород») обусловили пестроту и разнообразие почвенного покрова. По данным грунтовых обследований, в пределах области было выделено 277 почвенных видов (Н. Кваша, 1970). Более новые работы почвоведов Ровенского филиала института землеустройства, Национального университета водного хозяйства и природопользования, а также других научных и проектных организаций области позволяют выделить из этого разнообразия несколько самых распространенных типов почв (табл. 9.7).

Таблица 9.7

**Основные типы почв Ровенской области
(все земли хозяйств сельскохозяйственного производства)**

Типы почв	Площадь, тыс. га
1. Дерново-подзолистые	264,6
2. Оподзоленные	285,6
3. Черноземы обыкновенные	42,0
4. Черноземы и дерново-карбонатные почвы («громыши»)	39,2
5. Дерновые оглеенные	130,6
6. Луговые и черноземно-луговые	53,6
7. Болотные	229,1
8. Размытые почвы и выходы коренных пород	1,5

Дерново-подзолистые почвы сформировались преимущественно под лесами с участием травяной растительности, что обусловило одновременное проявление двух противоположных процессов почвообразования: с одной стороны – подзолистого, при котором разрушаются минеральные и органические части почвы, а с другой стороны – дернового, который способствует накоплению органических и минеральных (в первую очередь карбонатных) веществ в почвенном слое. В зависимости от преобладания того или другого процесса, особенно подзолистого, различают слабо-, средне- и сильноподзолистые почвы. Вместе с тем на состав, строение и свойства почв заметно влияют особенности материнских пород, на которых протекали процессы почвообразования, в связи с чем выделяют песчаные, глинисто-песчаные и супесчаные разновидности дерново-подзолистых почв. Эти почвы имеют значительное распространение, особенно на междуречьях и обширных борových (первых надпойменных) террасах Полесья. Они достаточно интенсивно используются в сельскохозяйственном производстве, о чем свидетельствует и относительно высокий уровень их распаханности (свыше 60 %).

Оподзоленные почвы сформировались преимущественно на лессовидных породах и распространены в южной лесостепной части, занимая водораздельные плато и их склоны на Волынской возвышенности. Они делятся на светло-серые, серые оподзоленные, темно-серые оподзоленные и черноземы оподзоленные. Наибольшее распространение в пределах области получили серые оподзоленные почвы (около 123 тыс. га), которые характеризуются значительной кислотностью, а следовательно – бесструктурностью и распылением пахотного слоя, склонного к заплыванию и образованию корки на поверхности, и, наконец, незначительным содержанием гумуса, которое определяет низкое плодородие. Вместе с тем эти почвы интенсивно распахиваются (82 %) и достаточно эффективно используются при выращивании зерновых, технических и плодовых культур, многолетних трав и т. д.

Высокие уровни распаханности оподзоленных почв в условиях волнистой поверхности водораздельных пространств и склонов лессового плато содействуют интенсивному развитию эрозийных процессов, которые приводят к потере естественного плодородия почвы (плоскостной смыв), а порой и к полному разрушению грунтового слоя (линейная эрозия). По данным Ровенского филиала института землеустройства, почти 43 % площадей распространения оподзоленных почв характеризуются разными степенями смывости грунтового слоя.

Черноземы обыкновенные составляют самые ценные земельные угодья области, которые сформировались под травяной растительностью (луга) на лессовых отложениях Волынской возвышенности, занимая площади свыше 42 тыс. га. Эти почвы характеризуются легкосуглинковым составом с высоким содержанием пыли и ила, зернисто-комковатой структурой пахотного слоя, слабокислой или нейтральной реакцией почвенного раствора.

По содержанию гумуса черноземы разделяются на тучные (> 9 %) (окраска чёрная), среднегумусные (9–6 %) (чёрная), малогумусные (6–4 %) (тёмно-серая), слабогумусные (< 4 %) (серая), микрогумусные (< 2 %) (светло-серая), а по мощности гумусовой части профиля – на сверхмощные (мощность более 120 см), мощные (120–80 см), среднемощные (80–40 см), маломощные (< 40 см).

Размещение на высоких гипсометрических уровнях и интенсивное распахиwanie черноземов (по отдельным видам распаханно от 92 до 100 % площадей) способствуют распространению эрозийных процессов, в связи с чем к началу 90-х годов почти 40 % площадей, покрытых почвами этого типа, имеют явные признаки разных степеней смытости (от слабо- до сильносмытых).

Черноземы и дерново-карбонатные почвы, которые образовались на элювии карбонатных пород и имеют в области фрагментарное распространение (в частности, в Малом Полесье), хотя их общая площадь (свыше 39 тыс. га) мало уступает описанным выше черноземам обыкновенным.

Характерной чертой почв этой группы является значительное уменьшение мощности гумусового слоя (редко превышает 20–30 см) и резкий переход к коренной породе (трещиноватые мергели, известняки). Эти почвы имеют несколько худшие, по сравнению с черноземами обыкновенными, физико-механические и водные свойства, отличаются преимущественно щелочной реакцией почвенного раствора. Наиболее эффективно используются для выращивания озимой пшеницы, особенно при условии подпитки фосфорными удобрениями. Распаханность превышает 95 %, однако смытость ощутимо уменьшается, что объясняется относительно незначительными превышениями ареалов развития этих почв над местными базисами эрозии.

Несколько лучшие свойства имеют дерново-карбонатные почвы, которые образовались на элювии карбонатных пород (*перегнойно-карбонатные*, или *рендзины*). На этих почвах могут выращиваться неплохие урожаи разнообразных сельскохозяйственных культур, особенно при условии обеспечения посевных площадей калийными удобрениями. Рендзины фрагментарно встречаются на Малом Полесье и в Костопольском районе.

Дерновые почвы распространены преимущественно в южной части Ровенского Полесья, а также на пойменных речных долинах в пределах Волынской возвышенности, занимая общую площадь свыше 130 тыс. га. Они образовались преимущественно на песках (иногда на супесях), в связи с чем характеризуются легким механическим составом, малым содержанием органических веществ, незначительным насыщением основами (*щелочным раствором*). Встречаются развитые (глубокие) дерновые глинистые почвы, где мощность гумусового горизонта достигает 20 см, и неразвитые (неглубокие) разновидности, с мощностью гумусового горизонта до 8–10 см.

Незначительное содержание гумуса, а, следовательно, недостаток азота и фосфора, предопределяют низкое естественное плодородие дерновых почв. Особенно это касается песчаных и связано-песчаных видов, где в добавление к сказанному отмечается и недостаток калия.

Луговые и черноземно-луговые почвы встречаются на всей территории области, занимая низкие (иногда и высокие) уровни пойм, днища балок и фрагментарно – отдельные участки надпойменных речных террас и сниженных водоразделов (особенно на Полесье). Формируются преимущественно под травянистой растительностью на аллювиальных и делювиальных отложениях в условиях чрезмерного временного увлажнения.

По глубине залегания грунтовых вод и уровню оглеения различают луговые глинистые и лугово-болотные почвы. В первых уровни грунтовых вод залегают на глубинах 50–100 см, а у вторых грунтовые воды подходят непосредственно к поверхности. На отдельных участках высоких пойм, надпойменных террас и сниженных водоразделов распространены лугово-черноземные почвы (общая площадь около 7 тыс. га), которые также формируются под травянистой растительностью в условиях высокого залегания уровней грунтовых вод. Эти почвы одновременно сочетают признаки луговых почв (часто даже имеют оглеение в нижнем участке профиля) и черноземов, хотя в сравнении с последними они более увлажнены и гумусированы.

Луговые, лугово-болотные и особенно лугово-черноземные почвы имеют сравнительно высокое потенциальное плодородие и используются преимущественно как естественные кормовые угодья. Значительные площади таких почв распаханы и используются как полевые севообороты, а чаще – для выращивания кормовых и овощных культур.

Болотные почвы распространены главным образом в Полесье, занимая разные по генезису и размерам понижения в аллювиальных и озерно-ледниковых отложениях. Фрагментарно встречаются в пределах Волынской возвышенности и Малого Полесья, особенно на поймах Иквы, Свитеньки, Вилии и других притоков Стири и Горыни. В зависимости от мощности верхних горизонтов (торфяного или дернового) выделяют илесто-болотные, торфянисто-болотные, торфяно-болотные почвы и торфяники.

Иловато-болотные почвы характеризуются отсутствием слоя торфа и представляют собой черную землистую массу, которая светлеет с глубиной. Общая мощность редко превышает 50–70 см. Торфянисто-болотные и торфяно-болотные почвы отличаются наличием поверхностного торфяного горизонта, мощность которого колеблется соответственно от 20 до 50 см. Болотные почвы, где мощ-

ность торфа превышает 50 см, относят к торфяникам. В отдельных торфяниках области мощность слоя торфа достигает 75–300 см, а иногда и больше (болота Гало, Черное и другие).

По особенностям расположения в рельефе, литологии и, в первую очередь, по характеру водного питания различают торфяники низинные, переходные и верховые. Наибольшее распространение в пределах области имеют *низинные торфяники*, на долю которых приходится более 90 % всего болотного фонда. *Низинные болота*, которые питаются главным образом грунтовыми и напорными водами, следовательно, имеют лучшие условия питания для растительного покрова, распространенные преимущественно в поймах рек, хотя в Полесье часто покрывают и достаточно значительные участки водораздельных пространств.

Наибольшее развитие в описываемом регионе имеют *осоково-глинистые, разнотравно-осоковые, камышовые и древесно-камышовые разновидности низинных торфяников*. Эти торфяники характеризуются высоким содержанием азота (часто и фосфора), но удовлетворительные урожаи на таких почвах могут быть получены лишь при условии внесения калийных удобрений и подпитки микроэлементами. *Переходные и верховые торфяники* имеют преимущественно атмосферное водное питание и занимают сравнительно небольшие площади на незначительных понижениях водоразделов. По сравнению с низинными торфяниками они характеризуются меньшей степенью разложения торфа, меньшей зольностью, кислой реакцией почвенного раствора. Торфы верховых и переходных болот Ровенского Полесья до чернобыльской катастрофы широко использовались в качестве топлива, как подстилающий материал и т. д. Использование их как сельскохозяйственных угодий в связи с низкой продуктивностью остается проблематичным.

Анализ водно-физических и физико-химических свойств почвенного покрова области показывает, что подавляющее большинство почвенных разновидностей могут достаточно эффективно использоваться в сельскохозяйственном производстве лишь при условии их искусственного улучшения, то есть требуется применение научно обоснованной системы гидротехнических и химических мелиораций.

По особенностям литологии материнских пород, основных процессов почвообразования, морфологии и водно-физических свойств и естественного плодородия почв в пределах Ровенщины выделяют (С. Вознюк, П. Козьма и др., 1976) восемь *почвенно-мелиоративных районов* (рис. 9.10), которые характеризуются не только доминантным распространением тех или других типов почв, но и особенностями хозяйственного использования, улучшения почвенного покрова территории. Карта распространения основных почвенных видов представлена на рисунке 9.11.



Рис. 9.10. Почвенные районы (1976)

I. Зареченский. Преобладают болотные (50 %), дерново-подзолистые (29 %) и дерновые почвы.

II. Высоцко-Рафаловский. Преобладают болотные почвы.

III. Плав-Горынский. Наиболее развиты торфяники (50 %), дерново-подзолистые (30 %), луговые (12 %) и дерновые почвы.

IV. Сарненский. Преобладают дерново-подзолистые (на повышениях) и дерново-карбонатные (на понижениях) почвы.

V. Рокитновский. Наиболее распространены дерново-подзолистые оглеенные почвы.

VI. Костопольский. Основа почвенного покрова – дерново-слабоподзолистые карбонатные и луговые почвы с отдельными низинными торфяниками.

VII. Ровенский. Наиболее развиты серые оподзоленные почвы на лессовидных суглинках и черноземы.

VIII. Радивилковский. Преобладают дерново-глинистые карбонатные и черноземно-луговые карбонатные почвы.

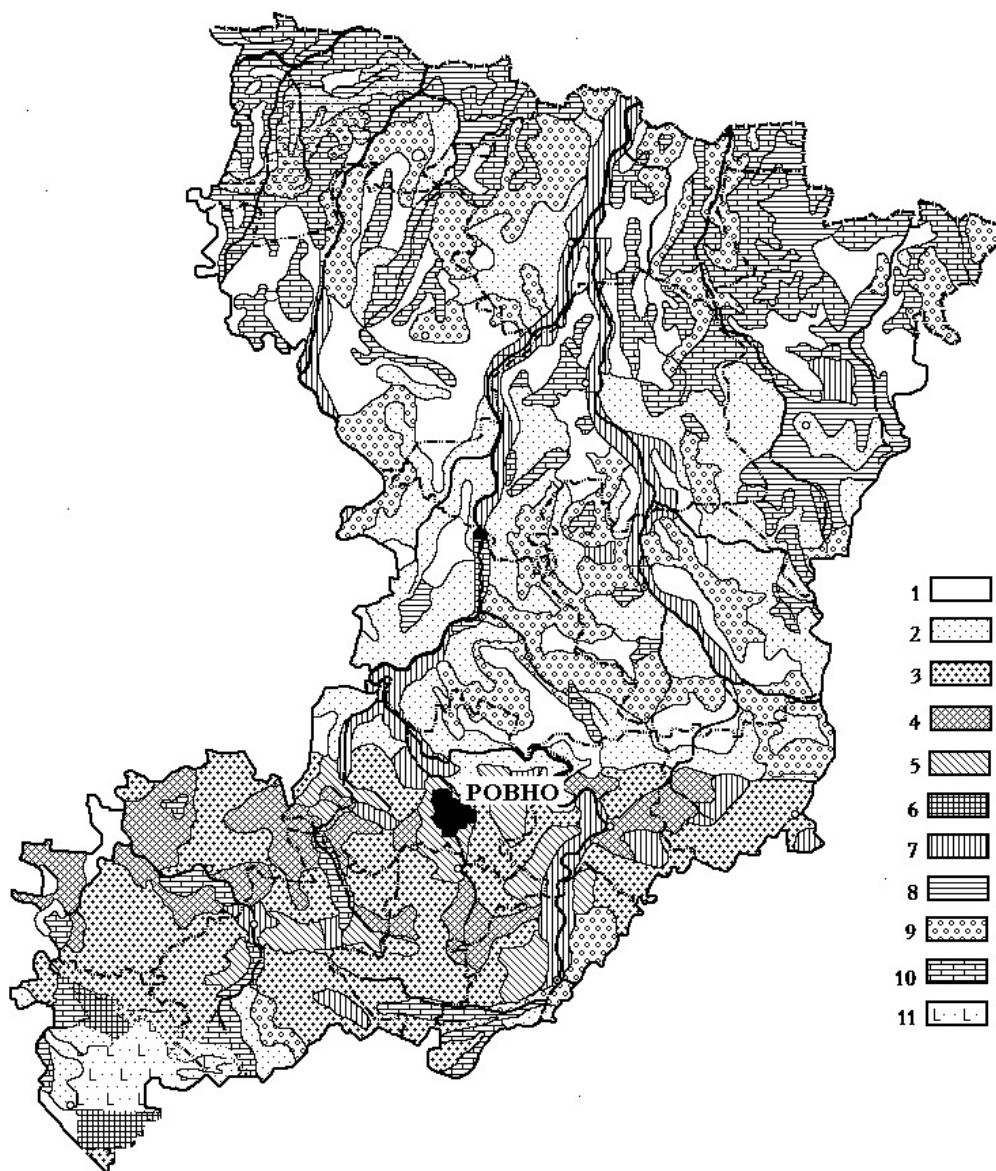


Рис. 9.11. Карта распространения основных почвенных типов

Почвы: 1 – дерново-скрыто-подзолистые песчаные (боровые пески); 2 – дерново-подзолистые песчаные и глинисто-песчаные; 3 – темно-серые и серые лесные; 4 – черноземы оподзоленные; 5 – черноземы выщелоченные; 6 – черноземы карбонатные; 7 – луговые и лугово-черноземные; 8 – лугово-болотные; 9 – дерновые оглеенные; 10 – торфяники низинные и торфяно-болотные почвы; 11 – дерново-карбонатные

Изменение свойств почвенного покрова в результате мелиораций

Одним из основных факторов, который определяет современное развитие почвенного покрова Волынского Полесья, являются осушительные мелиорации.

В работах многих ученых [5, 9, 10, 17, 25] отмечается, что проведение осушительных мелиораций влияет на направленность почвообразования прежде всего на осушаемых массивах, изменяет их водно-воздушный и тепловой режимы, режим питания.

Мелиоративные мероприятия направлены на изменение свойств и режимов почв, и, таким образом, по завершении строительства и в процессе функционирования осушительных систем почвы находятся в новых условиях. При этом возникает глубокое изменение гидродинамических условий, которые существенно влияют на эволюцию почв. В разных почвенно-мелиоративных условиях вторичные почвообразующие процессы изменяют структуру, физические свойства почв, уровень их плодородия. Например, в торфяных почвах наблюдается уменьшение интенсивности процесса накопления гумуса и активизации процесса минерализации и выноса органического вещества с дренажным стоком. На осушенных луговых и дерновых почвах возникают аллювиальные процессы и изменяют их профиль из аккумулятивного в дифференцированный.

Почвы Полесской низменности, как и большинство осушенных почв лесостепи, имеют достаточно низкую буферность (противостояние к внешнему влиянию) за счет легкого механического состава одних и органогенной природы вторых. Вследствие этого диапазон пределов допустимого влияния внешней среды на осушенные почвы незначительный и критическая нагрузка наступает очень быстро. Поскольку межбиогеоценозная связь в условиях Полесья и в пределах отдельных территорий (как правило, речных бассейнов) лесостепи проявляется достаточно четко, то экологические изменения одного биогеоценоза отражаются на других.

Результаты опытов в разных регионах Полесья указывают на четко выраженный во времени процесс сработки залежей торфа и уменьшения площади маломощных торфяников [13, 19, 25]. Торфяные почвы превращаются в менее плодородные, чаще в луговые- и торфяно-болотные. По данным А. С. Гордийчука [13], в условиях Полесской зоны за 25 лет мощность торфа уменьшилась на 60 см (темп сработки торфа 2,4 см/год). Потери органики за 8 лет работы осушительных систем составили 6,5–8,9 т/га. Наибольшая интенсивность сработки торфа в пределах Полесской части области наблюдается на системах «Стубла» и «Чемерно-Хвощеватая». Материалы топогеодезических работ Ровенской гидрогеолого-мелиоративной партии по осушительным системам «Стубелка», «Печаливка», «Марьяновка», «Язвинка» и др., а также опыты на осушительных системах «Иква», «Тартацкая» и «Пляшевка» доказывают, что на большинстве осушительных систем Ровенской области имеет место сработка торфа со средней интенсивностью 0,8–3,5 см/год (по В. С. Мошинскому, 1995).

Интенсивность разложения (деградации) торфяных почв, изменение структуры почвенного покрова имеют опасные размеры. Эта неудовлетворительная в экологическом и экономическом отношении тенденция может и должна быть значительно замедлена, но, к сожалению, полностью остановить процесс разложения торфяников, которые используются в сельском хозяйстве, почти невозможно.

На протяжении длительного времени осушенные торфяные почвы в результате разложения торфа и возникающих в них изменений постепенно превращаются в дерново-глееватые и дерново-оглеенные снизу. Скорость изменения осушенных почв, и конечная стадия их эволюции зависит от водного режима (глубины залегания грунтовых вод), степени дренированности массива, уровня и характера их сельскохозяйственного использования. При переосушении мелиорируемые торфяные почвы могут превращаться в дерново-выщелоченные и дерново-подзолистые. В отдельных случаях при подстилании торфа песками и переосушении торфяные почвы превращаются в низкоплодородные почвы типа дерново-подзолистых песчаных [49].

Для максимального снижения последствий процессов сработки торфа необходимо использовать торфяные почвы в качестве сельскохозяйственных угодий на фоне создания оптимального водного режима (с предупреждением переосушения), внесения органических удобрений и других мелиорантов, которые обеспечивают положительный баланс углерода.

Известно, что все типы почвенных видов (в первую очередь на осушенных землях) в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования деградируют (изменение разрядов почв, ухудшения структуры и физических свойств, снижения плодородия).

Для того, чтобы уменьшить до минимума процесс деградации почв, необходимо проводить комплекс агрохимических и агромелиоративных мероприятий по регулированию плодородия, это, в первую очередь, выбор правильных севооборотов, использование паров, внесение органического вещества для обеспечения дополнительного баланса углерода, гидротехнические мероприятия.

При проведении осушительных мелиораций изменяются водно-физические свойства почв. Эти изменения можно условно разделить на два этапа: изменение свойств за счет осушения почв и изменение в процессе эксплуатации осушительных систем и сельскохозяйственного использования почв.

Вопросами динамики водно-физических свойств занимались многие специалисты: Ф. Р. Зайдельман, Б. И. Козловский, М. Д. Будз, Л. А. Волкова и другие [4, 5, 12, 17, 18, 30, 31, 36].

В работах С. Т. Вознюка [7–11] и В. А. Олиневича [48] отмечается изменение влагоемкости торфяных почв под воздействием осушения. Так, в торфах юга Полесской зоны полевая влагоемкость осушенных целинных почв в слое 0,1–0,2 м составляет 495 %. На третьем году использования в варианте с пахотными землями она уменьшилась до 392 %, на четвертом – до 293 %, а капиллярная – с 310 до 230 %. За 9 лет использования торфяников в северной части Волынского Полесья влажность уменьшилась в слое от 0–0,15 м на 80,3 %, в слоях 0,15–0,3 и 0,3–0,45 м – 281–295 %. В нижних горизонтах влагоемкость уменьшилась в среднем на 34 %.

Исследованиями Л. А. Волковой [10, 12] на дерново-подзолистых почвах разного механического состава установлено, что влагопроницаемость почв значительно увеличивается после осушения. Для зоны дренажной засыпки это увеличение составляло 505 и 294 % соответственно для легких и

тяжелых по механическому составу почв. Установлено, что на значение гидравлической проводимости не влияет степень отдаленности от осушителя, а доминирующим здесь выступает значение плотности породы в естественных условиях залегания (плотности) и пористости.

В аллювиальном слое осушенных дерново-подзолистых почв, плотность увеличивается мало, а в иллювиальных горизонтах наблюдается заметное уплотнение, которое объясняется уменьшением влажности почвы. Уплотнение почвы приводит к уменьшению пористости, ухудшению влагопроницаемости, особенно в иллювиальных горизонтах. На увеличение плотности скелета минеральных и торфяных почв указывают М. Д. Будза, А. А. Комисарчук, З. А. Шебельникова. По их данным, на осушительной системе "Яриновка" плотность скелета торфа за 15 лет эксплуатации увеличилась с 0,18–0,23 г/см³ до 0,49–0,55 г/см³ [4].

Согласно выводам М. Д. Будза [4] на основании исследований, которые были проведены на осушенных землях Волынского Полесья, по мере эксплуатации осушенных земель отмечается процесс улучшения их фильтрационных свойств. Но следует заметить, что этот процесс очень длительный. Немного более интенсивный он на землях под многолетними травами.

В. Г. Криштоф, В. С. Троцюк [43] отмечают, что на осушенных землях наблюдается увеличение плотности почвы, общая пористость и полная влагоемкость снижаются в среднем на 10–15 %. Предельная полевая влагоемкость снижается достаточно существенно. При этом за счет увеличения некапиллярной пористости влагопроницаемость почв увеличивается в 1,5–2 раза. Указанные изменения имеют место в первые 3–4 года работы осушительной системы [3].

Согласно опытам Ф. Р. Зайдельмана [17] дерново-подзолистые, торфяно-глеевые и другие переувлажненные почвы после осушения попадают в условия застойно-промывного режима с короткими фазами глубокого анаэробноза. Это вызывает интенсификацию элювиальных явлений и может обусловить формирование мощных осветленных выщелоченных горизонтов. Такое вторичное (антропогенное) оподзоливание – следствие трансформации водного режима за счет искусственной дренированности.

В связи с осушением почв резко изменяется направление почвообразования: вместо накопления органического вещества в торфяно-болотных почвах наблюдается его интенсивная минерализация. При отсутствии комплекса осушительно-увлажнительных систем эти процессы еще в большей степени ускоряются посевами пропашных и зерновых культур, что приводит к безвозвратной потере органического вещества торфа.

Следует учитывать, что на территории Ровенского Полесья много неглубоко залегающих торфяников с глубиной торфяных залежей в пределах 0,4 м. Срабатывание такого слоя торфа уже наблюдается в хозяйствах, где выращиваются пропашные и зерновые культуры.

Раскорчевка кустов, которая широко практикуется при осушении и освоении минеральных почв, во многих случаях приводит к уничтожению слоя перегноя, его механическому передвижению с образованием валов, вследствие чего на поверхность выходят бесплодные горизонты и резко уменьшается плодородие почв в целом.

Наряду с эрозией почв в результате неконтролируемого снижения уровня грунтовых вод, уменьшается плодородие прилегающих к болотам минеральных почв, а отдельные участки с легким механическим составом превращаются в «кочующие пески».

Все указанные явления необходимо учитывать при мелиоративной и экологической оценке территории осушительных массивов и прилегающих к ним территорий. Кроме того, нельзя относить изменения, которые происходят в природных комплексах, только на счет мелиорации, не учитывая всего комплекса факторов антропогенного влияния, например таких, как промышленные выбросы, последствия аварии на ЧАЭС, рост рекреационной нагрузки и т. д.

9.7. Биоценоз и его изменения в процессе осушения

Среди комплекса проблем экологии осушительных массивов наименее изученным является вопрос влияния осушительных мелиораций на флору и фауну. Существующие данные по этому вопросу достаточно ограничены и противоречивы. Разные проблемы характеризуются разнообразием взглядов, субъективизмом наблюдений и выводов. Наиболее значительными трудностями влияния осушения на биоценоз, на наш взгляд, является наложение собственно мелиоративного и общего антропогенного влияния на флору и фауну. Кроме того, необходимо отметить, что большинство экспериментов по данному вопросу проводились именно в зоне Полесья, в то время как влияние осушения на животный и растительный мир лесостепной зоны остается малоизученным.

По данным многих ученых, таких как Л. С. Балашов, Т. Л. Андриенко, А. И. Кузьмичев, В. И. Парфенов, М. В. Смолинский, Ю. Р. Шеляг-Сосонко и др. [1, 2, 16, 21, 24, 52], проведение осу-

шительных работ, распаханность лугов и хозяйственное освоение земель, вырубка лесов и уничтожение древесно-кустовой растительности в понижениях, сенокосы и выпас скота существенно изменили флористический состав и растительность. За последние 100 лет (с начала проведения осушительных мелиораций в регионе экспедицией И. И. Жилинского) полностью исчезли 70 видов растительности, многие виды значительно сократили свой ареал, существенно уменьшились запасы дикорастущих ягодных и лекарственных растений. Отмечено исчезновение многих видов специфических и редких фитоценозов, а именно таких растений, как рипхоспора белая, шейхцерия болотная, болотный мирт. Почти полностью исчезли фитоценозы меч-травы и др.

При сельскохозяйственном освоении осушенных земель наблюдается уничтожение естественных растительных групп и возникает их замена агрофитоценозами (В. И. Парфенов, М. В. Смолинский [52]), изменяется структура лесных фитоценозов, их флористический состав.

На болотах Полесья распространено около 300 видов цветочных растений, это 20 % флоры, характерной для этой зоны. Среди них много ценных для науки видов реликтов, видов, которые находятся на грани исчезновения, и видов, которые имеют хозяйственное значение (ягодные и лекарственные растения). Из всех видов растений около 20 – это лекарственные растения, подлежащие заготовке и растущие на болотах. Расширение осушительных работ в Полесье привело к значительному уменьшению, а в некоторых местах и к полному исчезновению запасов лекарственных растений, которые растут на болотах. Отмечается исчезновение в ряде районов валерианы (*Valerianaceae*), *суше-ницы болотной (Gnaphalium uliginosum)*, *росянки (Drosera)*, *ауры (Acorus calamus)*, уменьшение запасов вахты, кубышки, ятрышников. Если в 1957–1962 гг. заготовка валерианы в Полесье достигала 80 % от общего объема заготовки в Украине [16], то в 1990–1991 гг. объемы ее заготовки сократились до 35 %.

Под воздействием осушения исчезают гидрофильные растительные группы. Например, осочки сменяются осоково-злаковыми и злаково-разнотравными группами, возникает мезофитизация. Отмечается сокращение ареалов из флоры местных умеренно ксероморфных теплолюбивых (западноевропейских и степных) видов.

Из состава флоры болот исчезают типичные галофиты, гидрофиты, гидрофиты и постепенно укореняются мезофиты и психромезофиты, а иногда и ксерофиты. Возникает постепенное изменение болотных фитоценозов, замена их разными временными группами, что приводит к формированию мезофитного ценоза. Так, при осушении болот подавляются, а в дальнейшем и вообще исчезают из покрова доминирующие тростник, рогозы, ирис, осоки, манники и сопровождающие их виды. На их месте формируются низкокачественные осоково-злаковые торфянистые луга или заросли кустовой ивы.

Необходимо согласиться с выводами Л. С. Балашева и Т. Л. Андриенко [1] о нецелесообразности осушения верховых и переходных болот (в Ровенской области это болотные массивы Кремневое, Коза-Березина, Переброды и Морочно). Переходные торфяники, которые имеют низкую зольность поверхности, не дают необходимую сельскохозяйственную отдачу. После их осушения в первые три года исчезает сфагновый покров и изменяются основные компоненты травянисто-кустового яруса, вместо которых приобретает развитие травянисто-гипновый покров и начинается интенсивное олесение (преимущественно березой).

При осушении наблюдаются некоторые общие закономерности изменения луговой растительности. Первым этапом является падение жизнедеятельности видов растений в луговых группах и снижение их биологической производительности. Постепенно, с изменением условий жизнедеятельности, возникают факторы, которые в первую очередь отражаются на флористическом составе. После 3–4 лет функционирования осушительных систем первобытные группы луговой растительности полностью заменяются новыми [2].

Согласно исследованиям [1, 16] на осушенных осоковых и осоково-моховых болотах после снижения уровня грунтовых вод поверхностный слой торфа остается влажным; прежде всего возникает притеснение и уменьшение количества пушицы, осоки, гипновых мхов, наиболее гидрофильных злаков и болотного разнотравья. Одновременно увеличивается роль вейника сероватого и незаметного, мятлика болотного, иногда овсяницы красной, мятлика обычного. Начинает расти менее гидрофильное разнотравье (дербенник иволистый, дербенник прутевидный, набазник вязолистый, чистец болотный, лютики), иногда появляется клевер ползучий. Травостой в относительно короткий срок превращается из осокового в разнотравно-злаково-осоковый или разнотравно-осоковый. Он представлен разными временными группами. Плотность травостоя увеличивается, а его кормовые качества улучшаются. В дальнейшем процесс осушения приводит к полному исчезновению типичных болотных видов и улугованию травостоя.

Достаточно интенсивное осушение с понижением уровня грунтовых вод до 1,5–2,0 м вызывает переосушение верхнего (дернистого) слоя торфа и полную деградацию растительного покрова. По-

верхность переосушенного торфяника покрывается растительностью не более чем на 30 %, возникают отдельные пятна, на которых совсем отсутствует растительность.

Массовое распространение сорняков (крапива, осот, череда, почечуйник) наблюдается на значительных площадях осушенных земель как в Полесской, так и лесостепной зонах Ровенской области за счет использования неосвоенных земель под естественные пастбища. Такие факторы полной деградации болотного травостоя на осушенных землях без образования любых культурфитоценозов являются основным следствием обеднения флоры Полесья и Лесостепи.

Много геоботаников, в частности Л. С. Балашев, Т. М. Андриенко [1], предупреждают об исчезновении болотных экотипов, в связи с чем могут исчезнуть или значительно уменьшить свой ареал типичные галофиты и образованные ими ценозы. Могут исчезнуть виды, которым уже сейчас угрожает уничтожение, в том числе 19 видов мохообразных болотных растений. Под угрозой исчезновения находятся все фитоценозы сфагновых болотных и связанные с ними редкие для Украины виды растений. Факты исчезновения или уменьшения ареалов отдельных видов и целых растительных ассоциаций, которые связаны с хозяйственной деятельностью, требуют проведения мероприятий относительно охраны болотных растений и болотных фитоценозов как компонентов естественного биоценоза.

Осушение заболоченных и переувлажненных земель в Полесской низменности сопровождается изменением не только видового состава растительности, но и видового состава и численности животных.

Исследования по влиянию осушения на фауну Украинского Полесья как на территории Украины, так и за ее пределами свидетельствуют о резко негативном прямом влиянии этого процесса на представителей животного мира (позвоночных и беспозвоночных) водно-болотного комплекса и непосредственному отрицательному воздействию на другие виды животных.

Многие авторы исследовали степень и характер изменений фауны Полесья под воздействием мелиорации [24, 28]. Отмечается уменьшение состава, численности и биомассы насекомоядных животных и увеличение численности и биомассы мышевидных грызунов, которые трансформировались под воздействием мелиораций из полевки обычной и полевой мыши.

Хозяйственное влияние на реки и открытые водоемы ограничивает число речных уток-нырков. В районах массовых осушительных мелиораций они почти полностью исчезают, сохраняются только в сравнительно небольшом количестве кряква и чирки. Исчезают также серый журавль, черный аист и змеед, которые раньше были постоянными представителями Полесья, а теперь, как и филин, стали настолько редкими, что при отсутствии мероприятий по охране могут исчезнуть вовсе. Зарегистрировано снижение популяции боровых птиц (глухаря в 6 раз, тетерева в 2 раза). Сплошное омолаживание лесов в долинах рек, а также их осушение привело к резкому уменьшению численности лесных птиц. В первую очередь это хищные птицы (орлы, совы) и птицы – дуплогнездовые (голубь сизый, дятел, скворец, синица и др.). К числу исчезнувших или таких, что уменьшают свой количественный состав, птиц в Полесье относятся: погоньш, малый погоньш, камышёвка, речная крачка, чибис, бекас, кряква, чирок-трескунок, чирок-свистун, заразиха, сорока обычная, овсяница, камышовая овсяница, белая и желтая трясогузка, луговой конек, большая синица, речной сверчок.

Следствие выпрямления русел рек – сокращение численности бобра на 30%. По выводам исследователей, численность лосей остается стабильной. Как отмечает О. И. Сафронов, эксплуатация осушительных мелиораций предусматривает в дальнейшем обогащение флоры и фауны. Посадка лесополос, ландшафтных лесных куртин, обустройство водоемов с защитными лесонасаждениями – все это должно обеспечить сохранение растительного мира, создание нормальной среды для диких животных. Например, в Черниговском Полесье постоянно увеличивается численность лосей, косуль, диких кабанов, бобров, зайцев и др., акклиматизировались благородные олени, фазаны.

При осушении и окультуривании торфяных болот сокращается численность и полностью исчезают следующие виды беспозвоночных: плаун, водолюбы, листоеды и другие. В фауне мелиорируемых территорий преобладают влаголюбивые формы полезных групп сапрофага, а вредные насекомые представлены незначительно.

Осушительные мелиорации приводят к снижению почти в 2 раза численности и видового состава паразитов. Это можно наблюдать на примере эктопаразитов (иксодовые, гамазовые и краснотелковые клещи, блохи, вши) и на тех, которые живут в гнездах грызунов (орибатидные и тироглифидные клещи и др.). Приблизительно в 1,5 раза снижается количество гнуса (мокриц, мошок, слепней, комаров) и гельминтов, которые паразитируют у мелких грызунов.

Таким образом, проведение осушительных мелиораций необходимо рассматривать как позитивное явление с медицинской и ветеринарной точек зрения. Действительно, исчезновение водяной полёвки и ее паразитов способствует ликвидации туляремийных ячеек. Сокращение численности

гнуса уменьшает существование естественных очаговых заболеваний. Мелиорация лесных массивов способствует снижению численности иксодовых клещей, которые переносят возбудитель клещевого энцефалита и пироплазмозных заболеваний [24].

Специального изучения требует вопрос о влиянии мелиорации на гидрофауну рек и других водоемов Полесья. По данным института гидробиологии (В. А. Полищук), реки, которые текут почти полностью в пределах Полесской низменности, имеют особенность в виде наличия слишком бедного зоопланктона (не больше $0,1 \text{ г/м}^3$). Реки, которые стекают с Волыно-Подольской возвышенности, имеют более богатый зоопланктон, который достигает $0,5\text{--}0,9 \text{ г/м}^3$. Развитие зообентоса зависит от характера донных отложений, скорости течения, глубины, степени зарастания. На торфяных почвах показатели зообентоса незначительны и колеблются в пределах 700–1600 экземпляров при биомассе $0,5\text{--}4,4 \text{ г/м}^3$. Процесс эвтрофикации водоемов в результате поступления удобрений из мелиорируемых угодий увеличивает количество бентоса. В зависимости от отложений его развитие может колебаться от 0 до 45 г/м^3 .

Загрязнение рек, в том числе вызванное осушением, отложило отпечаток на условия нагула и видовой состав рыб. Резко уменьшилась численность реофильных рыб, таких как морена, елец, язь, рыбец, быстрянка. Ухудшились условия существования многих лимнофильных рыб в результате общего ухудшения условий существования, нарушения условий нереста, усиления загрязнения и уменьшения способности рек к самоочистке. Большинство зарегулированных рек, где могла выгуливаться большая рыба, сильно обмелели и характеризуются однообразием гидрологических условий. Снижению рыбопродуктивности рек с мелиорируемыми бассейнами способствовало общее уменьшение их акватории.

Нельзя не отметить изменение фауны почв. По исследованиям А. Ф. Киленварлиц, происходят существенные изменения в комплексах почвенных беспозвоночных. Если на недоосушенном болоте количество дождевых червей достигало $106,7 \text{ экз./м}^2$, то на мелиорируемых участках оно уменьшилось до $37,5 \text{ экз./м}^2$. На болотах основная масса насекомых сосредоточена в поверхностных слоях почвы на глубинах 10–12 см, после осушения часть животных проникает на глубину 25–40 см. Вследствие осушения густота животного населения увеличивается в 9 раз по сравнению с недоосушенными болотами.

На мелиорируемых землях приобрели усиленное развитие фитофаги, а также насекомые, которые хорошо переносят колебания температуры и влажности, такие как мертвоед, чернотелка, длинноножка. Эти насекомые быстро развиваются и наносят особенный вред сельскому хозяйству [24].

Таким образом, существующие осушительные системы оказывают существенное влияние на животный мир районов массовых осушительных мелиораций. Это нашло проявление в коренном изменении местонахождения животного мира, уменьшения численности и исчезновения отдельных видов животных в процессе строительства мелиоративных систем, дорог, водоемов и других сооружений, видоизменению водной фауны в результате зарегулированности водоемов и водотоков, снижения биологической производительности угодий в связи с создавшимися неблагоприятными условиями для диких животных.

Для сохранения естественной флоры и фауны в районах массовых осушительных мелиораций необходимо проводить комплекс мероприятий для поддержания условий естественной эволюции типичных экосистем и уникальных естественных комплексов, которые имеют научную и хозяйственную ценность, решить вопрос отчуждения участков слабопродуктивных осушенных угодий для восстановления естественных болотных ландшафтов, посадки лесополос и создания рекреационных зон, водохранилищ, прекратить экстенсивное, экологически неоправданное расширение площадей осушительных земель.

9.8. Природное районирование территории

Описанные отдельные компоненты природной среды (геологическое строение, рельеф, климат, поверхностные и подземные воды, почвы, растительный и животный мир) существуют не изолированно один от другого, а связаны сложной системой взаимосвязей. Характер рельефа определенной территории предопределяется ее геологическим строением и климатическими особенностями; климат в значительной степени зависит от подстилающей поверхности, заболоченности, озерности и густоты гидрографической. Вследствие этого еще ярче проявляется взаимозависимость между растительным и почвенным покровом, растительным и животным миром и т. д. Проявляясь по-разному на тех или иных участках территории, эти взаимосвязи предопределяют формирование своеобразных природных систем – природно-территориальных комплексов (ПТК). В зависимости от масштабов распространения родственных компонентов природы различают ПТК разных рангов, иерархию которых

можно представить в такой последовательности: фация – урочище – местность – ландшафт – природный район – природная область – природная зона (часто в пределах природной области выделяют подобласти, а природные зоны разделяют на провинции). Именно в определении пространственного размещения границ ПТК разных рангов и заключается основной принцип природного (физико-географического) районирования любой территории.

Природно-территориальные комплексы высших рангов (природные области, провинции, природные зоны) охватывают большие площади и, как правило, выходят за пределы административных единиц. Описываемая территория Ровенщины расположена в пределах Полесской провинции зоны смешанных лесов, где выделяются природные области Волинского и Житомирского Полесья, и Западноукраинской провинции лесостепной зоны (природные области Волинской возвышенности, Малого Полесья и Северного Подолья). Общее представление о территориальном размещении природных комплексов высших рангов дает рисунок 9.12, а сжатая характеристика основных природных (ландшафтных) районов Ровенщины представлена ниже.

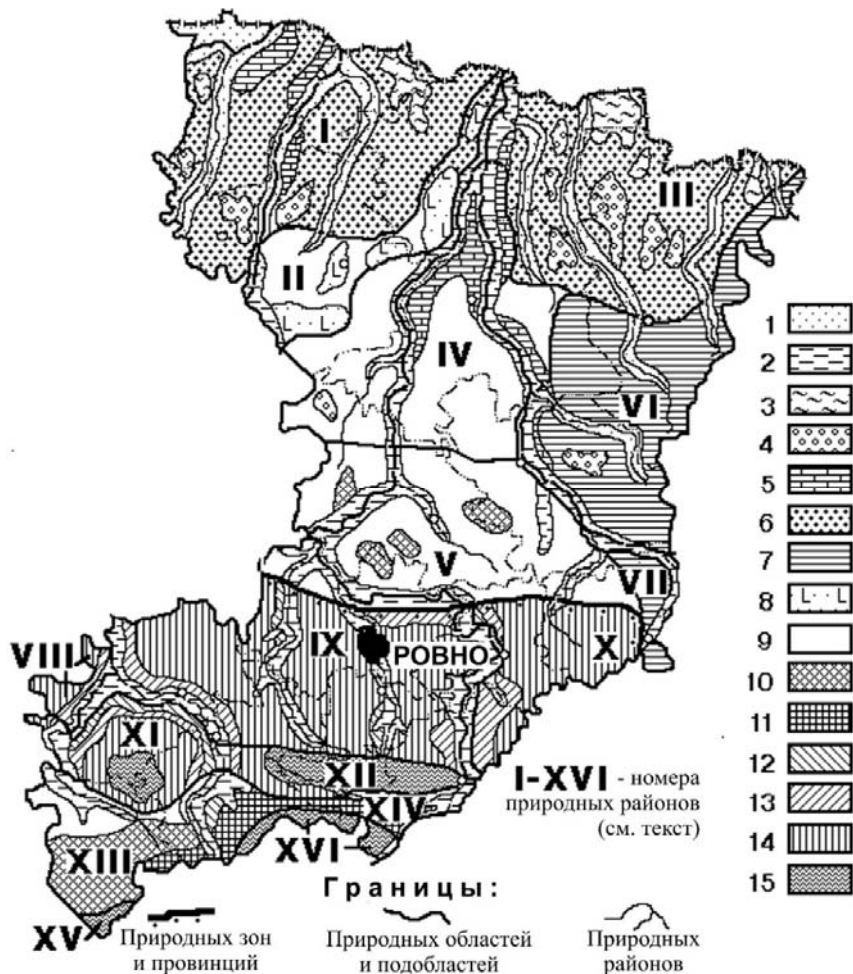


Рис. 9.12. Природное районирование территории Ровенщины (по К. Геренчуку и И. Коротуну, 1976)

Виды ландшафтов: 1 – пойменные лугово-болотные с преобладанием торфяников и заболоченных лугов; 2 – пойменные луговые (заводы, покрытые настоящими разнотравно-злаковыми лугами); 3 – верховые болота междуречья с преобладанием сфагновых торфяников; 4 – низинные мхи и травяные болота на междуречье; 5 – песчаные массивы с развитыми сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах; 6 – междуречье на песках палеогена с развитыми сосновыми, дубово-сосновыми лесами и междуречными лугами на дерново-подзолистых и дерново-супесчаных почвах; 7 – междуречье на кристаллических породах с преобладанием дубово-сосновых лесов, суходольных лугов и пахотных земель на дерновых и дерново-подзолистых почвах; 8 – конечно-моренный горбисто-пасмовый с дубово-сосновыми лесами, лугами, болотами и пахотными землями на дерново-подзолистых, дерновых и лугово-болотных почвах; 9 – плоское междуречье на супесчаных озерно-аллювиальных и водно-ледниковых отложениях, покрытое сосново-дубовыми лесами, лугами и пахотными землями на дерново-среднеподзолистых почвах; 10 – денудационные междуречья с неглубоким залеганием отложений верхнего мела, занятые преимущественно пахотными угодьями на дерново-карбонатных почвах; 11 – плоские супесчано-суглинистые заболоченные равнины с многочисленными останцами, покрытые преимущественно дубово-грабовыми лесами на серых почвах; 12 – первые надпойменные террасы с пахотными землями на луговых черноземах; 13 – высокие (вторые и третьи) надпойменные лессовые террасы с пахотными землями на черноземных почвах; 14 – холмистые лессовые равнины с балочным рельефом, занятые пахотными землями на оподзоленных черноземах; 15 – высокие, интенсивно расчлененные овражно-балочной эрозией лессовые равнины, в значительной степени покрытые дубово-грабовыми лесами на серых и ясно-серых почвах.

чано-суглинистых озерно-аллювиальных и водно-ледниковых отложениях, покрытое сосново-дубовыми лесами, лугами и пахотными землями на дерново-среднеподзолистых почвах; 10 – денудационные междуречья с неглубоким залеганием отложений верхнего мела, занятые преимущественно пахотными угодьями на дерново-карбонатных почвах; 11 – плоские супесчано-суглинистые заболоченные равнины с многочисленными останцами, покрытые преимущественно дубово-грабовыми лесами на серых почвах; 12 – первые надпойменные террасы с пахотными землями на луговых черноземах; 13 – высокие (вторые и третьи) надпойменные лессовые террасы с пахотными землями на черноземных почвах; 14 – холмистые лессовые равнины с балочным рельефом, занятые пахотными землями на оподзоленных черноземах; 15 – высокие, интенсивно расчлененные овражно-балочной эрозией лессовые равнины, в значительной степени покрытые дубово-грабовыми лесами на серых и ясно-серых почвах.

9.8.1. Природные районы Полесской провинции зоны смешанных лесов

Природная область Волинского Полесья

1. Заречненский (у отдельных авторов – Нижнестырский) ландшафтный район расположен на северо-западе Ровенщины, охватывая земли Заречненского, частично Владимирецкого и Дубровиц-

кого административных районов. Южная граница может быть проведена приблизительно вдоль линии Старая Рафаловка – Зелень – Степангород – Золотое – Высоцк. Литологическую основу представляют пески палеогена, которые складываются между речьями (местами перекрытые остатками валунных песчано-суглинистых отложений основной морены днепровского, а возможно, и окского оледенений), а также современные аллювиальные отложения заводей Припяти, Веселухи, Стыри и Стублы и первой надпойменной террасы Припяти и Стыри. Район отличается наибольшей в области заболоченностью (более 50 % территорий занимают низинные моховые и травяные болота, а иногда – фрагменты сфагновых верховых болот). На междуручье подавляющий фон составляют местности, покрытые сосновыми, дубово-сосновыми лесами и лугами междуручья на дерново-подзолистых и дерновых супесчаных почвах. Фрагментами (на первых надпойменных террасах Припяти и Стыри) встречаются песчаные массивы с сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах.

Сравнительно короткий период вегетации (155 дней), частые весенние и осенние заморозки, прохладное лето отрицательно сказываются на общих агроклиматических условиях района. Исключения составляют лишь песчаные массивы с более благоприятными микроклиматическими условиями, что, по мнению некоторых авторов (К. Геренчук, 1974), предопределило и более раннее заселение этих территорий. Основные хозяйственные проблемы этого района связаны с рациональной организацией мелиоративных работ (в том числе с реконструкцией старых гидромелиоративных систем), лесовосстановлением, особенно на песчаных массивах, и повышением плодородия почв.

II. Рафаловско-Высоцкий (Высоцко-Владимирецкий) ландшафтный район охватывает зону краевых образований днепровского ледника, которые узкой полосой протянулись с территории Волыни до белорусского города Столин. Южная граница достаточно выразительно прослеживается вдоль линии пгт. Рафаловка – Антоновка – Бережница, где резко сворачивает на север вдоль повышенного левого берега Горыни. Здесь, на высоко поднятом меловом фундаменте, многочисленные конечно-моренные горбы и пасма чередуются с песчаными флювиогляциальными конусами выноса («дельтами» талых приледниковых потоков) и слабодренированными (часто замкнутыми) заболоченными понижениями, густо покрытыми кустарниками и сосново-ольхово-березовыми лесами. Общая заболоченность не превышает 20 %. Преобладающий природный фон в районе создают два главных типа ландшафтных местностей: конечно-моренные горбисто-пасмовые местности с дубово-сосновыми лесами, лугами, болотами и пахотными угодьями на дерново-подзолистых, дерновых и лугово-болотных почвах, а также плоское междуручье на супесчано-суглинистых водно-ледниковых отложениях с распространенными сосново-дубовыми лесами, лугами и пахотными землями на дерново-подзолистых почвах.

Достаточно дренируются моренные возвышения и зандровые конусы выноса, которые создают благоприятные условия для сельскохозяйственных работ, однако низкое естественное плодородие преобладающих дерново-слабоподзоленных (часто даже каменистых) почв и подобные описанному выше Заречненского района агроклиматические условия требуют специальных мелиоративных и агротехнических мероприятий для обеспечения достаточной эффективности сельскохозяйственного производства.

III. Льва-Горынский природный район, который расположен в восточных частях Сарненского и Дубровицкого районов, сформировался на основе преимущественно песчаных палеогеновых и аллювиальных (иногда – древнеозерных) отложений. Характеризуется преобладанием плоского сниженного междуручья, расчленяющегося маловыразительными долинами Львы, Чаквы и их притоков, и достаточно высоким уровнем заболоченности (до 50 % территории занимают болота и заболоченные земли). На Ровенщине это район наибольшего распространения верховых болот. Развиты сосновые, дубово-сосновые леса и междуручьи луга на дерново-подзолистых и дерновых супесчаных почвах. Особое место в районе занимают террасированные долины Горыни и Случа (приустьевой участок), где значительную часть занимают местности, покрытые разнотравными лугами (порой заболоченными) заводей и песчаных массивов на надпойменных террасах (с отдельными активными эоловыми формами рельефа).

Хозяйственное освоение района ограничивается незначительными площадями естественно дренируемых участков междуручья и торфоразработками (болотный массив Кремневое). Неблагоприятные агроклиматические условия, подобные условиям Заречненского района, а в последнее время и широкомасштабное загрязнение радионуклидами, связанное с Чернобыльской катастрофой 1986 года, являются сдерживающими факторами при проведении сельскохозяйственных и лесохозяйственных работ. Одним из главных направлений перспективного ведения хозяйства здесь является гидромелиоративное переустройство территории, развитие рыбного, охотничьего и рекреационного хозяйств (урочище «Залив» и др.).

IV. Сарненско-Степанский ландшафтный район расположен к югу от описанных выше Рафаловско-Высоцкого и Льва-Горынского природных районов. Южная граница проходит приблизительно вдоль линии Деражное-Злазное-Космачев-Яриновка-Городище. Характеризуется распространением песчаных массивов (флювиогляциальные, аллювиальные и озерные отложения на палеогене или меловой основе) с сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых (местами развеванных) почвах и интенсивно заболоченных местностей равнинно-пониженного междуречья с очень пестрым почвенным покровом (дерново-подзолистые, луговые, лугово-болотные, болотные, иногда дерново-карбонатные). Высокий уровень заболачивания (около 40 %) в значительной степени связан с размещением большей части территории в пределах бывшей прадолины Стыр-Словечна, созданной талыми водами днепровского ледника.

Агроклиматические условия мало отличаются от описанных выше природных районов. Эффективное ведение хозяйства тесно связано с проведением научно обоснованных гидромелиоративных работ, в первую очередь – с реконструкцией построенных в свое время крупных осушительных систем («Мельница», «Яриновка» и др.).

V. Костопольский природный район занимает южную окраину Волынского Полесья и по ландшафтными особенностями заметно отличается от описанных территорий. Здесь близко к поверхности подходят карбонатные образования верхнего мела, которые лишь кое-где перекрываются относительно маломощными песчано-суглинистыми отложениями флювиогляциального, аллювиального или озерного происхождения.

Своеобразие геологического строения описываемого района проявляется и через многочисленные выходы на дневную поверхность рифейских базальтов и других изверженных пород волынской вулканогенной серии (Берестовец, Базальтовое и др.). Особенности литогенной основы обусловили распространение здесь хорошо дренируемого волнистого (иногда плоского) денудационного междуречья, покрытого сосново-дубовыми лесами, лугами, болотами (заболачивание не превышает 22–25 %) на дерново-среднеподзолистых и дерново-карбонатных почвах.

Меньшая заболоченность, лучшие характеристики почв определили значительную интенсивность хозяйственного освоения территории, чему способствуют и относительно лучшие агроклиматические условия Костопольского природного района. Длительность вегетационного периода здесь возрастает до 200 дней в году (сумма температур превышает 2800 градусов). За теплый период года выпадает около 68 % осадков. Хозяйственные перспективы района связаны с обоснованными мелиоративными и агротехническими мероприятиями (сооружение систем с гончарным дренажом, глубокое взрыхление, внесение повышенных доз органических и минеральных удобрений и т. д.).

Природная область Житомирского Полесья

VI. Рокитновский (Клесовский, Льва-Ствыжский) природный район занимает восточную часть Ровенщины, от белорусской границы к широтному участку долины Случи, в пределах Рокитновского и Березновского административных районов (сюда частично входит и юго-восточная окраина Сарненского района). Размещение в пределах западной окраины Украинского щита предопределяет особенности литогенной основы природного района – неглубокое залегание (а часто и отслоение) докембрийских магматических и метаморфических пород (гранитов, гнейсов и т. д.), которые перекрываются разными по мощности, возрасту и условиям образования песчано-суглинистыми осадками (морские пески палеогена и неогена, флювиогляциальные, озерные и аллювиальные отложения четвертичного периода), что способствовало формированию в этом районе поверхности, типичной для денудационных равнин на кристаллической основе (бугристо-холмистый рельеф с многочисленными понижениями). Литогенная основа ландшафта определила неоднородность природно-территориальных комплексов низшего ранга (местностей, урочищ, фаций).

Определяется два самых распространенных типа природных комплексов, которые преобладают в этом районе. Во-первых, это плохо дренируемые равнинно-пониженные заболоченные местности с развитыми сосновыми, березовыми и ольховыми лесами; во-вторых, хорошо дренируемые повышения с близким залеганием кристаллических пород, где на дерново-подзолистых и луговых почвах сформировались естественные луга и пастбища.

Проблемы хозяйственного освоения района тесно связаны с рациональной организацией лесохозяйственных работ в условиях повышенного радионуклидного загрязнения и расширения площадей сельскохозяйственных (в первую очередь пахотных) угодий за счет выборочной мелиорации переувлажненных низин и понижений. Агроклиматические условия района в целом менее благоприятны, чем в соседних природных районах Волынского Полесья: здесь несколько более низкие температуры воздуха (января – на 0,5 °С, июля – на 0,3 °С), более короткий вегетационный период (199 суток), да и общая сумма температур периода вегетации редко превышает 2725°.

VII. Новоград-Волынский (Корецкий) ландшафтный район, который занимает юго-восточную окраину Ровенщины, по литогенной основе мало чем отличается от Рокитновского природного района. Отметим разве что распространение здесь лессовых «островов» с типичными для них формами балочно-овражного рельефа (поблизости Маренина и др.). Вместе с тем для бассейнов левых притоков Случа, в пределах которых размещен описываемый природный район (Пруды, Коряга), характерны меньшая лесистость, более высокий уровень заселения и хозяйственного освоения, что и дает основания рассматривать эту территорию как отдельный природно-территориальный комплекс. К тому же здесь отмечается определенное улучшение агроклиматических условий. Главные хозяйственные проблемы природопользования в Корецком ландшафтном районе связаны с повышением плодородия почв и реконструкцией созданных гидромелиоративных систем. На наш взгляд, район является перспективным и для организации рекреационного хозяйства (Соколиные горы на Случе, радоновые воды Корца и т. д.).

9.8.2. Природные районы Западноукраинской провинции лесостепной зоны

Западная провинция Украинской лесостепи территориально совпадает с Волыно-Подольской возвышенностью и по особенностям преобладающих природно-территориальных комплексов достаточно четко разделяется на несколько природных областей. В частности, описываемая территория Ровенщины лежит в пределах трех своеобразных по природным условиям областей этой провинции – Волынской возвышенности, Малого Полесья и Северного Подолья. Следует лишь отметить, что отдельные исследователи считают целесообразным рассматривать область Малого Полесья как часть описанной выше зоны смешанных лесов. На наш взгляд, такой подход можно принимать с позиций внешнего подобия преобладающих на Полесье ландшафтных местностей. Оправдывается он в определенной степени и при хозяйственных оценках территории. Что же касается литогенной основы ландшафта, которую выше упоминали как определяющий критерий природного районирования, то Малое Полесье целесообразнее было бы рассматривать именно в пределах Волыно-Подолья.

Природная область Волынской возвышенности

Природные особенности этой области определяются ростом абсолютных высот (часто свыше 280–300 м), достаточно значительным вертикальным расчленением (водоразделы на 80–120 м располагаются выше над тальвегами долин и балок), почти сплошным развитием лессового покрова, на котором сформировались овражно-балочные формы рельефа и самые плодородные в области грунтовые виды (черноземного типа), а также типичным для лесостепной зоны комплексом растительности. Волынская лесостепь узкой полосой протягивается в субширотном направлении, отделяясь от окружающих с севера и юга полесских ландшафтов. Ландшафтные районы Волынской возвышенности расположены в пределах двух гипсометрических уровней, которые повторяют субширотную ориентацию главной структуры и разделены субмеридианальными участками речных долин. Низший северный уровень занимают Застырский, Ровенский и Гощанский природные районы, а узкую повышенную полосу на юге Волынской возвышенности составляют Повчанский и Мизочский природные районы.

VIII. Застырский природный район охватывает сравнительно небольшой участок левобережья Стири на Млыновщине и Демидовщине и представляет собой восточную окраину Гороховского ландшафтного района Волини. Большую часть Застырья занимают долинные ландшафты левого берега Стири – слабо заболоченная заводь (частично затопляемая водами Хренницкого водохранилища при его наполнении) и выположенные поверхности надпойменных террас. Лишь на расстоянии 3–5 км от русла Стири начинается типичный для Гороховщины холмистый овражно-балочный ландшафт (приустьевые территории достаточно крупные субширотные балки, верховья которых лежат за пределами Ровенщины). Район имеет благоприятные агроклиматические условия для выращивания основных сельскохозяйственных культур, в первую очередь пшеницы, сахарной свеклы, овощей. Антропогенная нагрузка растет в связи с построением новых населенных пунктов для переселения жителей районов, которые пострадали от аварии на ЧАЭС (в окрестностях населенных пунктов Ставров, Берестечко, Пляшева). Основные проблемы природопользования связаны с рациональной организацией агротехнических и агромелиоративных мероприятий, направленных в первую очередь на борьбу с линейной эрозией почв.

IX. Ровенский природный район охватывает центральную часть северного склона Волынской возвышенности, протянувшись от долин Стири и Иквы на западе в Горыни на востоке. Это наибольший природный район Волынской возвышенности в пределах Ровенщины, который характеризуется слабохолмистой поверхностью с включением широких балок и выровненных местностей. В рельефе значительное место занимают долинные ландшафты левых притоков Горыни – Стубелки, Устья (ранее заболоченные, а теперь осушенные заводи, первые надпойменные террасы) и радиально расчле-

ненное Острожское плато, где начинаются притоки Иквы, Стыри, Горыни (Путиливка, Зборов и др.). Общий ландшафтный фон Ровенского природного района изменяется на юге, где вдоль подошвы Мизочского кряжа проходит относительно пониженная и заболоченная равнина, которая унаследована, очевидно, давней проходной долиной, по которой стекала часть талых вод днепровского ледника. Плодородные почвы (здесь сосредоточена большая часть ровенских черноземов обычных и оподзоленных), а также плотное заселение района определили высокий уровень антропогенной трансформации природного ландшафтного фона – более 80 % территории распаханно, леса сохранились лишь фрагментарно, значительные площади занимают населенные пункты, промышленные предприятия, пути сообщений.

Интенсивному сельскохозяйственному освоению территории способствуют агроклиматические условия района: длительность периода активной вегетации в среднем превышает 155 дней (сумма температур свыше 2500 градусов), а за вегетационный период выпадает 400–450 мм осадков.

Главные проблемы природопользования связаны с ликвидацией последствий чрезмерной антропогенной нагрузки, безрассудно проведенного осушения узких заводей (система «Стубелка» и др.), с разработкой различных методик противоэрозионных агротехнических мероприятий и т. п.).

X. Гоцанский природный район охватывает восточную окраину Волынской возвышенности в пределах Гоцанского плато. Холмистая поверхность, перерезанная разлогими субширотными балками и долинами небольших правых притоков Горыни (Бухта, Гоцанка и др.), в целом напоминает рельеф описанного выше Ровенского района, отличаясь лишь меньшими абсолютными высотами, которые здесь не превышают 230 м, меньшими глубинами вертикального вреза, несколько большей степенью заболачивания. Рядом с оподзоленными черноземами здесь распространены темно-серые оподзоленные почвы, и особенно привлекает внимание рост части луговых и болотных почв, которые распространены здесь не только в заводях речных долин и тальвегах балок, но часто выходят и на междуречье. Высокий уровень оглеения почв, особенно на востоке и на севере района, обусловил широкое развитие гидромелиоративных работ. Важным фактором антропогенной трансформации природных ландшафтов является высокий уровень заселения территории (наибольшая на Ровенщине плотность сельского населения).

Агроклиматические условия в целом благоприятны для сельскохозяйственного производства и мало отличаются от условий Ровенского природного района. Главные проблемы природопользования связаны с реконструкцией устаревших мелиоративных систем (использование гончарного и кротового дренажа и т. д.) и увеличением водозапаса подземных водоносных горизонтов, катастрофически обедненных вследствие сооружения Ровенского городского водозабора.

XI. Повчанский природный район располагается на Стырь-Иквинском междуречье, занимая интенсивно расчлененную овражно-балочной эрозией Повчанскую возвышенность (абсолютные отметки часто превышают 300 м) и прилегающие выровненные террасные местности долин Стыри, Иквы и Пляшевки. В пределах возвышенности преобладают светло-серые и серые оподзоленные почвы под относительно хорошо сохранными дубово-грабовыми лесами, а на лессовых равнинах надпойменных террас темно-серые лесные почвы чередуются с оподзоленными (иногда даже с обыкновенными) черноземами. Достаточно широко представлены в районе пойменные (луговые, болотные) почвы, в значительной степени мелиорируемые.

Агроклиматические условия района можно считать в целом благоприятными для выращивания зерновых (пшеница, ячмень), технических (сахарная свекла) и овощных культур; ощущается лишь негативное влияние поздних весенних заморозков, которые особенно отражаются на садоводстве. Хозяйственные проблемы связаны с необходимостью проведения противоэрозионных, лесовосстановительных работ и реконструкцией действующих гидромелиоративных систем.

XII. Мизочский природный район территориально отвечает Мизочскому кряжу, который протягивается вдоль южного края Волынской возвышенности в пределах Дубенского, Здолбуновского и Острожского административных районов. Кряж имеет асимметричное геоморфологическое строение: на более разлогом северном склоне высоты редко превышают 260–280 м, в то время как вдоль высокого и крутого южного и западного края преобладают вершины с высотами более 300 м (наивысшие достигают 350–358 м).

Характерным признаком литогенной основы Мизочского района является интенсивное эрозионное расчленение: сравнительно короткие, но глубокие овраги и балки разрезают поверхность кряжа как на северном, так и на южном склонах. Особенно сильно расчленены склоны долины главной водной магистрали района р. Свитенька (Збитенька). В описываемом природном районе преобладают достаточно сильно эродированные светло-серые и серые оподзоленные почвы. Одна из важных ландшафтных особенностей Мизочского кряжа – высокая, как для Волынской возвышенности, леси-

стость (около 20 % занимают дубово-грабовые и дубово-сосновые леса). По мнению К. Геренчука, лучшему сохранению лесов здесь способствует именно наличие густой сети оврагов и балок.

Основные хозяйственные проблемы Мизочского природного района связаны с рациональной организацией противоэрозионных мероприятий и проведением лесоохранных и лесовосстановительных работ.

Природная область Малого Полесья

Малое Полесье заходит на территорию Ровенщины своей восточной окраиной, образуя два природных района: Стырь-Иквинский и Острожский.

XIII. Стырь-Иквинский природный район отвечает Кременецко-Дубенской равнине и генетически продолжает ландшафты Бродовской зандровой равнины на территории Радивиловского и Дубенского административных районов. Поверхность составлена преимущественно флювиогляциальными песками, на которых сформировались дерново-слабоподзолистые почвы под дубово-сосновыми лесами. Последние теперь почти полностью сформированы под воздействием хозяйственной деятельности человека и сохранились отдельными фрагментами (крупные лесные массивы остались лишь на правом берегу Иквы, в бассейнах Замышовки и Иловицы). В районе значительное место занимают переувлажненные долинные ландшафтные местности, где доминируют луговые, лугово-черноземные почвы и торфяники (заводы и остатки первых надпойменных террас Стыря, Слоновки, Пляшевки, Иквы, Тартацкой). Фрагментарно (поблизости Радивилова) встречаются крупные песчаные массивы, закрепленные сосновыми насаждениями. Главной ландшафтной особенностью района является распространение волновых денудационных участков с неглубоким залеганием мела и мергелей, на которых сформировались своеобразные дерново-карбонатные почвы (местами дерново-глинистые карбонатные и перегнойно-карбонатные), которые отличаются высоким естественным плодородием (здесь находится свыше 90 % общей площади таких почв области).

Район характеризуется достаточной длительностью вегетационного периода, который обычно составляет 208 дней с суммой температур свыше 2900 градусов (период активной вегетации длится 165 дней, в течение которых сумма температур превышает 2500 °С), а также высоким уровнем увлажнения растений (в теплый период года выпадает более 70 % годового количества осадков). Хозяйственные проблемы связаны главным образом с сохранением плодородия почв и необходимостью реконструкции целого ряда крупных гидромелиоративных систем, в первую очередь «Иква», «Тартацкая», «Пляшевка», «Слоновка».

XIV. Острожский ландшафтный район Малого Полесья занимает суженный участок между Мизочским кряжем и Кременецким низкогорьем, известен под названием Острожской проходной долины, которая дренируется реками бассейна Горыни: Свитенькой (Збытенькой), Вилией, Кутянквой, и расположен на юге Здолбуновского и Острожского административных районов. По характеру поверхности имеет заметные отличия от описанного выше Стырь-Иквинского района.

Общую равнинность территории нарушают значительные выположенные эрозийные останцы, которые перекрываются флювиогляциальными и аллювиальными песками, придавая рельефу района волнистый (порой холмистый) вид. Преобладают дерново-подзолистые почвы, возрастает общая залесенность территории (преимущественно дубово-сосновые леса). Рациональная организация природопользования в районе связывается с лесосохранением и лесовосстановлением, организацией противоэрозионных и водохозяйственных мероприятий, в первую очередь направленных на рекреационное использование территории (Новомалинское водохранилище, оз. Святое и др.).

Северо-Подольская природная область

На крайнем юге на территорию Ровенщины узкой полосой заходят ответвления северного уступа Подольского плато (Кременецких гор), которые круто спадают к прилегающим равнинам Малого Полесья. В пределах описываемой территории лессовые окраины Подолья образуют два сравнительно небольших по площади участка – на юге Радивиловщины и на Вилия-Свитенском междуречье. Не принимая во внимание генетическую однородность этих участков, целесообразно рассматривать их как отдельные естественные районы, так как они имеют очевидные ландшафтные отличия.

XV. Радивиловский природный район Подолья представлен участком Северо-Подольского уступа вблизи с. Дружба. Именно здесь, на границах Тернопольской, Львовской и Ровенской областей, находятся наивысшие точки Ровенщины (372 м), о чем упоминалось выше (см. раздел «Рельеф»). Большая часть района представляет собой распаханную безлесную площадь, и только в глубоких оврагах и на крутых склонах высоких останцевых «гор-свидетелей» (Красная, Цимбал, Стожок) сохранились достаточно густые дубово-грабовые леса и кустарники. Основные проблемы ведения хозяйства связаны с организацией противоэрозионных и лесовосстановительных работ.

XVI. Вилия-Свитенский природный район Подолья заметно отличается от описанного Радивиловского участка. Морфологически он представлен сериями эрозийных останцев, которые рядами отвечают от уступа Северного Подолья, проникая на южные окраины Здолбуновского и Острожского административных районов. Несмотря на сглаженные троповидные формы этих останцев и сравнительно меньшие абсолютные высоты, которые не превышают 280–290 м, они резко контрастируют с прилегающими участками Острожской проходной долины, создавая живописный пейзаж густозалесенного низкогорья (дубово-грабовые леса укрывают практически всю территорию района). Перспективы хозяйственного использования района связаны с рациональной организацией лесного и рекреационного хозяйства.

9.9. Развитие мелиораций на Ровенщине

В течение многих веков Полесье – труднодоступный заболоченный район, большая часть которого размещалась на территориях Минской, Гродненской и Волынской губерний, считался бесперспективным для хозяйственного освоения. Еще древний историк и философ Геродот, поднявшись по Днепру и Припяти и увидев водные пространства Полесья, писал: «...Это край морей и туманов». (табл. 9.8). Это был край дикой природы с редконаселенными и малоосвоенными землями. Заметное заселение и освоение человеком пригодных к проживанию участков Полесья началось с XVI века.

Началом активных и плановых работ по осушению земель в нашем регионе можно считать приказ русского императора Николая I (в 1854 г.), в котором было отмечено «...приступить к осушению болот, считая это дело первоочередной важности и первым шагом до общего благодеяния». Организованное проведение осушительных работ на Полесье началось лишь в начале 70-х годов XIX века. В 1872 г. работала правительственная комиссия, которая ставила целью изучение существующего положения сельского хозяйства в северных и западных губерниях России, в состав которых входила и территория современной Ровенской области. Комиссия пришла к выводу о том, что земледелие в значительной мере зависит от положения животноводства, которое развивается недостаточно из-за слабой кормовой базы. В то время огромные площади потенциальных лугов и пастбищ находились под болотами, которые постоянно разрастались [29, с. 37]. Также было отмечено, что «осушка болот составляет меру, необходимую в губерниях северо-западной и западной полосы России». Также указывалось, что в отдельных губерниях, в том числе и Волынской, «стоячие воды, занимая огромные пространства, вредно действуют на климат, портят лес, затрудняют земледелие и препятствуют развитию скотоводства – необходимого подспорья сельского хозяйства, в этих местах» [14, с. 152–155].

С целью интенсификации сельского хозяйства, поднятия его производительности и культуры в регионах с переувлажненными землями Министерство государственного имущества организовало Западную и Северную экспедиции по осушению болот. Северная экспедиция работала в Санкт-Петербургской, Новгородской, Псковской и Прибалтийской губерниях. Западная проводила мелиорацию в первую очередь на Полесье, а после успешного завершения работ – во Владимирской, Рязанской, Московской и Тверской губерниях. Основными объектами осушительных работ были государственные земли, большие поместья и крестьянские хозяйства. На Полесье работы осуществлялись в течение 25 лет. Шаг за шагом реализовывался один из наибольших в XIX веке крупномасштабных проектов, финансируемый правительством. Его общая стоимость составила 3160 тыс. руб., из которых, – 2930 были средства казначейства, а около 230 тыс. поступило от частных лиц [61, с. 37].

В соответствии с проектом осушения Полесской низменности, который был разработан в 1873–1875 гг., мелиорация проводилась двумя путями: 1 – исправление существующих водотоков; 2 – прокладка новых каналов, которые планировалось использовать для отведения лишней воды и сплава древесины из лесных массивов, размещенных на территории, попавшей под мелиорацию. Осушенные земли сразу же становились естественными пастбищами и сенокосами [29, с. 16].

Высокий научный и технический уровень работы экспедиции обеспечивал участие в ее работе таких авторитетных специалистов, как инженеры путей сообщения И. Милицер, И. Сикорский, К. Малаховский, горные инженеры Ф. Ширяев, Л. Гатовский, инженеры-технологи Е. Оппоков, П. Петровский. В процессе работы были созданы каталоги высот Полесья, перечень всех рек региона, отдельные уклоны главных притоков Припяти: таблица высших, низших, средних горизонтов р. Припяти и Днепра; сравнительная таблица высших и более низких уровней Днепра и др.

Все 25 лет работой экспедиции неизменно руководил генерал-лейтенант топографической службы Иосиф Жилинский (1834–1916). Члены Западной экспедиции на Полесье работали в чрезвычайно тяжелых условиях: исследования проводились со значительными трудностями. Целые недели инженеры, техники, крестьяне, выполнявшие земляные работы, вынуждены были находиться вне человеческого жилья, среди вредных болотных испарений. Часто приходилось работать под угрозой утонуть [50, с. 6].

История развития мелиорации в Ровенской области [36]

Годы	Действия	Результаты
V в. до н.э.	«...Это край морей и туманов» (Геродот)	
XVI в.	Заселение и освоение человеком пригодных к проживанию участков Полесья	
XVIII в. до 70-х годов XIX в.	Попытки осушения заболоченных территорий. Закон о поземельном кредитовании мелиоративных работ	Проведены локальные работы по отведению воды из болотных и переувлажненных массивов с целью расширения площадей пахотных земель и обеспечения возможности использования травяных болот для сенокосов
1854	Приказ Николая I об осушении болот	Организация Северной и Западной экспедиций.
1872-1900	Работа правительственной комиссии – Западной экспедиции под руководством генерала И. Жилинского	1. К концу 1893 г. проведены 3731 верста каналов, 132 версты новых дорог, построено 438 деревянных мостов, 17 полушлюзов для задержки воды во время засухи; около 320 тыс. десятин болот, которые раньше были недоступными, преобразованы в луга и пастбища. 105 тыс. десятин земли превратились в хорошие поля, пригодные для пахоты. 2. Цена земли в Полесье значительно выросла: до канализации средняя рыночная цена десятины – 4 руб., в 1898 г. – 28 руб. 3. Проложены железнодорожные пути Киев – Брест (1873), Ровно – Костополь – Сарны – Луинец (1883), Киев – Ковель – Сарны (1902). 4. Процент прироста населения в полесских уездах стал выше, чем в тех, которые не входили в Полесье: 80,7 % против 69,4 %
1873–1875	Проект осушения Полесской низменности: 1) исправление существующих водотоков; 2) прокладка новых каналов	
1893	Организация сети метеорологических станций под руководством А. Воейкова	
1894	Исследование почв, флоры (И. Танфильев) и фауны (А. Никольский) Западного Полесья	
6 мая 1896 г.	Закон о ссудах на сельскохозяйственные улучшения	
1900–1906	Прекращение мелиоративных работ	
1906	Межевка и хуторизация (Столыпинская реформа)	Осушительные работы имели государственное значение, проводились за счет правительства
1912–1915	Изучение почв и болот Полесья	3-верстная карта почв Житомирского, Новоград-Вольнского, Ровенского и Изяславского уездов
1912	Изучение болота Чемерное (В. Доктуровский, Е. Сербин)	Обустройство опытно-показательных участков на болотах
1913	Курсы по болотоведению для крестьян (Е. Сербин)	
1914–1917 1924–	Сарненская научно-исследовательская станция по осушению болот (дир. Л. Кужницкий)	
20–30-е годы	Активизация мелиоративных работ помещиками и крестьянскими общинами	
1932	Осушение Андруховского болота (дир. Б. Якс-Хамец)	Осушение, пахота, внесение минеральных удобрений, посеяны многолетние травы. Из зерновых дали хорошие результаты: рожь, ячмень, конопля, корнеплоды
Состояние на 1939 г.	Созданы 44 мелиоративные системы (89,342 гектара)	Осушено земель в Костопольском районе (10 систем, площадью 27 980 га), Сарненском (10 сист. – 16 190 га), Березновском (7 сист. – 13 378 га), Владимирецкому (5 сист. – 11 215 га)
1939–1945	Разрушена традиционная для региона структура ведения хозяйства. Прекращена эксплуатация мелиоративных систем.	Заиливание магистральных каналов. Вторичное заболачивание осушенных площадей.
1945–1950	Интеграция в экономику УССР	Повторное возникновение проблемы мелиорации земель на Полесье
1950- середина 60-х	Активизация мелиоративных работ	Почти полностью прекращено использование ручного труда. Недостаток – неряшливое выполнение мелкой сети. Осушку проводили главным образом сетью открытых каналов и не всегда обеспечивали оптимальный режим осушения
1966-1990	Крупномасштабные мелиоративные работы	
90-е до нашего времени	Уменьшение финансирования на содержание и эксплуатацию мелиоративных систем	Спад эксплуатации мелиоративных систем, разрушения. Нарушение экосистем

В Волынской губернии осушение осуществлялось на территории современных Ровенской и Житомирской областей. Сначала его проводили систематически, начиная с низин рек, но позже от этого метода отошли, и работы проводились в тех государственных дачах, на которых ожидалась наибольшая прибыль от осушения болот и лугов, а большие осушительные каналы облегчали сбыт ценного государственного леса. Усилиями участников экспедиции было заложено 17 государственных дач, из них 6 на территории нынешних Сарненского и Рокитновского районов современной Ровенской области (Стрельская, Клесовская, Люхчанская, Карпиловская, Довгосельская и Сновидовицкая), и 11 – на Житомирщине. Общая площадь мелиорируемых на Волыни земель составила 11 986,0 десятин [49, с. 515–516]. Осушенные земли сразу становились сенокосами и пастбищами для скота.

Так, в дачах Стрельской, Клесовской и Люхчанской Ровенского уезда осушительные работы начались в 1889 г. Было запроектировано для осушения сенокосов 3436 десятин, из которых расчищено 1162 десятины. Все десятины, как расчищенные, так и те, которые заросли, были разбиты на 279 участков, из которых 120 имели площадь 10–15 десятин; 97 участков – 5–10. На выполнение работ потратили 4987 руб. За 7 лет функционирования дач (1891–1898) лишь от сенокосов было получено 8914 руб. прибыли [50, с. 545–547].

Кроме упомянутых выше работ по улучшению осушенных болот для использования под сенокосы экспедиция на маленьких участках производила опыты использования болот всех полесских типов под другие культуры, а именно: к посеву озимых и яровых зерновых, кормовых трав, картофеля, огородных овощей. Эти опыты производились не с целью организации дополнительных источников прибыли для казны, а, как отмечает руководитель экспедиции И. Жилинский, имели исключительно воспитательное значение: показать полесскому крестьянину на конкретном примере способы и приемы разработки болот под пахоту и огороды, доказать возможность и необходимость такой работы и ее хорошими результатами вызвать желание продолжения этого дела [50, с. 55].

Такие действия были вызваны малочисленностью огородов во второй половине XIX в. на Полесье ввиду недостаточного количества пригодной земли. «Почти все поселения размещались на песчаных холмах, на которых не только овощи, но и хлеб родили плохо без дополнительного удобрения гноем. Очень часто болота подходили к крестьянским усадьбам» [46]. Следуя примеру первых профессиональных мелиораторов, крестьяне начали проводить возле своих жилищ «малую мелиорацию», закладывая и разводя огороды. Именно это и определило приход и закрепление на Полесье овощных культур – картофеля, капусты, огурцов и др.

Четверть века «Полесская Одиссея» генерала И. Жилинского имела чрезвычайно важное значение: к концу 1893 г. в этой местности было проведено 3731 верста каналов, 132 версты новых дорог, построено 438 деревянных мостов, 17 полушлюзов для задержки воды во время засухи; около 320 тыс. десятин болот, которые раньше были недоступными, преобразованы в луга и пастбища, 105 тыс. десятин земли превратились в хорошие поля, пригодные для пахоты [60, с. 37].

Стоимость осушения одной десятины болота составила около 4 руб. Ценность земли на Полесье значительно выросла: до канализации средняя рыночная цена десятины была 4 руб., а в 1898 г. – 28 руб. [61, с. 45].

25-летнее крупномасштабное целеустремленное вмешательство людей в природу Полесья открыло ее уникальность и стало толчком к проведению комплексных исследований особенностей природно-климатических условий и животного мира.

Для изучения погоды и изменений в климате после проведения мелиорации была создана сеть метеорологических станций, которыми с 1893 г. руководил основатель русской мелиорации профессор А. Воейков. В 1894 г. по заданию Министерства земледелия и государственного имущества Полесье изучал И. Танфильев, исследуя его почвы и флору. Фауну исследовал приват-доцент А. Никольский. Результатом этих исследований стали монографии «Климат Полесья» А. Воейкова [6], «Геоботаническое описание Полесья» И. Танфильева [59], «Животный мир Полесья» А. Никольского [47]. Эти три монографии стали приложением к «Очерку работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898 года)», составленного ее неизменным руководителем И. Жилинским по поручению Министерства земледелия и государственного имущества. За четким, лаконичным и конкретным текстом очерка, дополненного разнообразными таблицами и картами, стоит титанический труд тысяч людей: инженеров, техников, простых полесских крестьян. Именно их усилиями была укрощена стихия воды и болот на Полесье, улучшены условия жизни и труда его малочисленного населения.

Следом за мелиораторами, строителями мостов, каналов и грунтовых дорог на Полесье пришли строители железных дорог. В 70–90-ые годы были проложены колеи Киев – Брест (1873), Ровно – Костополь – Сарны – Лунинец (1883), Киев – Ковель – Сарны (1902) [20, с. 20]. Маленькие полесские поселки постепенно превращались в города: Костополь, Сарны, Рокитное, Дубровица. Начинается

разработка полезных ископаемых Полесья, создаются первые промышленные предприятия, растет производительность сельского хозяйства. В полесских уездах Волынской губернии за период с 1870 по 1896 год процент прироста населения стал выше, чем в тех, которые не входили в Полесье: 80,7 % вместо 69,4 % [50, с. 599]. Это одни из лучших показателей эффективности работы, проведенной Западной экспедицией по осушению болот.

Можно сделать вывод о том, что мелиоративные работы, проведенные Западной экспедицией по осушению болот, были качественными и эффективными, что стало мощным импульсом социально-экономического развития Полесья в конце XIX века.

6 мая 1886 г. был утвержден Закон о ссуде на сельскохозяйственные улучшения, общий для всей Российской империи. Ссуда выдавалась на осушку, обводнение и оросительные работы, закрепление берегов рек, оврагов и сыпучих песков и на разведение плодовых садов и виноградников [61].

После 1900 г. работы по мелиорации Полесья резко сократились. Западная экспедиция была официально ликвидирована, ибо выполнила свою функцию. При Министерстве земледелия и государственного имущества был создан отдел земельных улучшений. В губерниях, где была проведена мелиорация, в штат местных управлений земледелия и государственного имущества были введены «гидротехнические чины», созданы Особенные комитеты, которые созывали Особенные совещания. Они рассматривали и утверждали проекты осушительных работ как на государственных, так и на помещичьих и крестьянских землях, если в их реализации должно было участвовать государство. Согласно Циркуляру от 15 июля 1903 г. проектные исследования на надельных землях крестьян «гидротехнические чины» проводили бесплатно, но крестьянские общины для прокладки каналов должны были выделять рабочих, подвод и материалы.

Столыпинская аграрная реформа 1906 г. положила начало межевке и хуторизации и стала главным импульсом, который способствовал активизации мелиорации. Осушительные работы на крестьянских землях, которые подлежали разделу на хутора, считались имеющими государственное значение и поэтому проводились исключительно за счет правительства, бесплатно осуществлялись и изыскательные работы для составления проектов на этих землях. В случае необходимости земские управы выдавали помещикам кредит на осушительные работы.

В 1912–1915 гг. продолжалось изучение почв и болот Полесья. В апреле 1912 г. Волынское губернское земство утвердило программу исследования болот Ковельского и Овручского уездов. В этом же году оно утвердило 7-летнюю (1912–1918) научно-исследовательскую программу исследования почв и снарядило специальную экспедицию, которая за 2,5 года изучила и нанесла на трехверстную карту почвы Житомирского, Новоград-Волынского, Ровенского и Изяславского уездов. В 1915 г. началось изучение Староконстантиновского, Кременецкого, Дубенского и Острожского уездов. Работа была прервана Первой мировой войной [53, с. 59–60].

Летом 1912 г. болото Чемерное в нынешнем Сарненском районе Ровенской области исследовали В. Доктуровский и Е. Сербин, который заложил целый ряд опытно-показательных участков на болотах. Зимой 1912–1913 гг. Е. Сербин устроил и провел целый ряд курсов по болотоведению для крестьян, подобрал состав болотных мастеров, участвовал в создании болотного отдела при Волынском центральном музее в Житомире. Весной этого же года он подготовил экспонаты для Всероссийской выставки в Киеве, а также устроил конкурс болотных орудий и работал над созданием опытного болота в Сарнах. Осенью участвовал в работе Всероссийского сельскохозяйственного съезда [53, с. 5–14]. К сожалению, в октябре 1913 г. Е. Сербин погиб.

В 1914 г. начала работать Сарненская научно-исследовательская станция по осушению болот, первым директором которой был Лев Кужницкий. В связи с приближением фронта в 1917 г. станция приостановила свою работу.

В царской России отсутствовала служба эксплуатации осушительных систем, и поэтому ремонт и досмотр каналов не проводился. Вследствие этого они в большинстве разрушались, заносились по берегам песком и никакого осушительного действия не производили. Хотя В. М. Зубец [56, с. 54–58] считает невозможным считать осушенными земли только при наличии каналов, которые были сделаны в дореволюционный период, но именно тогда проходило накопление практического опыта хозяйственного использования болот при отсутствии знаний о процессах, которые имеют место на заболоченных землях и в ходе их освоения.

По окончании Первой мировой и Гражданской войн западноукраинские земли, по условиям Рижского мирного договора 1921 г., вошли в состав Польского государства. В 1924 г. возобновляет работу Сарненская научно-исследовательская станция. Большую помощь в ее возрождении оказали два местных помещика: владелец с. Цепцевичи Сарненского уезда над Горынью А. Понятовский, а также Б. Якс-Хамец (1887–1945), владелец имения Андруха в нынешнем Владимирецком районе.

Выпускник Высшей мелиоративной школы в Вене, Б. Якс-Хамец стал впоследствии директором Сарненской станции.

В 20–30-х годах на Волыни активизировались мелиоративные работы, особенно в полесской зоне, их проводили помещики и крестьянские общины при поддержке органов местной власти. Так, директор Сарненского научно-исследовательского заведения по изучению торфяников Б. Якс-Хамец свое имение Андруха превратил в образцовое хозяйство. В 1932 г. он провел мелиоративные работы по осушению Андруховского болота площадью 200 гектаров. Прорезные каналы делили площадь 180 гектаров на 45 ровных 4-гектарных участка (ризы). После осушения болота была проведена пахота, внесены минеральные удобрения, посеяны многолетние травы. С участков ежегодно собирали 150–180 копен сена. Из зерновых давали хорошие результаты рожь, ячмень, конопля, корнеплоды. В 1934 г. с 1 гектара мелиорируемых земель в имении собранно и намолочено 220 пудов ржи [29, с. 74–75].

В межвоенный период Сарненское научно-исследовательское учреждение по изучению торфяников было не только важным научно-исследовательским центром на Волыньском Полесье, но и научной ячейкой, которая распространяла передовой агротехнический опыт использования торфяников. Его постоянно посещал и производил опыты первый польский эколог Д. Шумкевич. В 30-х годах с работой заведения ознакомились ученые из Англии, Германии, США, а также комиссия экспертов по водным вопросам Лиги наций.

В это время только в нынешнем Владимирецком районе Ровенской области мелиорация была проведена в имениях Дубовка (300 гектар), Хиночи (болото около 300 гектар). В 1931 г., во время комасации (деление на хутора), в с. Текливка по низко размещенным полям прорезаны каналы, в имении Майдан-Крушевая мелиорировано 104 гектара, в колонии Антоновка – 140 гектаров, в имениях Домброва, Линно, Зосим – более 1000 гектаров [29, с. 52–59].

За 66 лет (1873–1939 гг.) капиталистического метода ведения хозяйства на территориях Полесья осушение заболоченных и переувлажненных земель приобрело постоянный характер. Так, только на территории нынешней Ровенской области в 7 наиболее заболоченных полесских районах (Березновском, Владимирецком, Дубровицком, Заречненском, Костопольском, Рокитновском и Сарненском) были созданы 44 мелиоративные системы общей площадью 89 342 гектара. Наибольшее количество земель осушено в Костопольском районе (10 систем площадью 27 980 гектаров), Сарненском (10 систем – 16 190 гектаров), Березновском (7 систем – 13 378 гектаров), Владимирецком (5 систем – 11 215 гектаров) [29, с. 1–4].

В сентябре 1939 г. западноукраинские земли были включены в состав СССР. В период Второй мировой войны (1941–1945) была разрушена традиционная для региона структура хозяйства. Существующие на Полесье мелиоративные системы фактически не эксплуатировались. Магистральные каналы заилились и заросли кустарниками. На осушенных пастбищах, лугах и полях началось вторичное заболачивание.

По окончании войны на Западную Украину вернулась Советская власть, становление которой длилось в течение 1945–1950 гг. За первых 5 послевоенных лет в регионе полностью изменился общественный строй: была ликвидирована частная собственность на землю и средства производства, изменился национальный, демографический и социальный состав населения, установилась административно-командная система управления. Идеологические факторы стали главными в выборе направлений социально-экономического развития. Хозяйство западноукраинских земель начало интегрироваться в экономику УССР и развиваться по перспективным пятилетним и годовым планам. Проведение коллективизации в регионе усложнялось почти полной деградацией существующих мелиоративных систем, которые в результате административно-территориального распределения Западной Украины на области и районы оказались межобластными, межведомственными и межхозяйственными и технологически не приспособленными к колхозно-совхозным формам ведения хозяйства, из-за чего в течение 10 лет (1940–1950) фактически не эксплуатировались. Отсутствие специалистов-мелиораторов и необходимой техники затягивали работы по реконструкции и восстановлению осушительных систем, которые проводились силами экономически слабых колхозов.

Таким образом, в конце 40-х годов XX века на Полесье мелиоративная проблема опять стала одной из главных, которую в течение 50–70-х годов преодолевали в ходе «построения материально-технической базы коммунизма» в сельском хозяйстве.

В 50-х годах начался период активизации мелиоративных работ, шло изучение процессов, которые связаны с осушением заболоченных массивов. В то же время, иногда при недостатке необходимых средств, мелиоративные работы проводились методом так называемого народного строительства, при котором осушительные системы строились по упрощенной схеме и технической документации. В период строительства 1950–1960 гг. водоприемникам и магистральным каналам определяли большую глубину. Их гидравлический расчет проводили на пропускание расходов предпосевного

периода 25%-ной обеспеченности с запасом от бровки не менее 0,5 м и проверкой на расходы летне-осенних паводков 10%-ной обеспеченности без выхода из русла и бытового периода 50%-ной обеспеченности [56]. Мелкую осушительную сеть проектировали через 200–300 м с устройством кротового или щелевого дренажа, причем через 400–500 м экскаваторами прокладывали осушители глубиной 1,4–1,5 м. Коллекторы проектировали через 1000–1200 м глубиной 1,5–1,6 м.

Большим недостатком мелиоративного строительства этого периода является неряшливое выполнение мелкой сети. Начиная с 1951 г. при строительстве мелиоративных систем было почти полностью прекращено использование ручного труда, между тем проектами предусматривалась ручная доработка осушителей по их углублению и расширению в размере 10 % от объема, которые были предварительно сделаны канавокопателями. Глубина осушителей, которые сооружались посредством применения канавокопателей КМ-800, составляла 0,8 м. Если учесть, что дно канала при его устройстве отвечает рельефу местности, а торф оседает после осушения, то глубину осушителя без ручных доработок можно принять 0,7–0,8 м вместо минимально необходимого 1,2–1,3 м.

Не выполнялся в натуре и предусмотренный проектами кротовый дренаж, а открытые осушители прокладывались через 100–200 м, что также влияло на водный режим почв. Капиталовложения, которые были сделаны до 1954 г., свидетельствуют о крайне низкой капиталности осушительных систем. Построенные таким образом мелиоративные системы отличались низким техническим уровнем. Осушка проводилась главным образом сетью открытых каналов и не всегда обеспечивала оптимальный режим осушения.

С 1960 г. качество осушительных систем значительно улучшилось. Водоприемники и магистральные каналы рассчитывают и обустраивают уже на пропускание расходов посевного периода, наводнения 25%-ной обеспеченности и летне-осенних паводков 10%-ной обеспеченности с запасом от бровок на 0,3–0,5 м. На землях, которые предусматривают посеы озимых, недопустимы подтопления.

С принятием в 1966 г. известного Постановления ЦК КПСС о развертывании широкомасштабных мелиоративных работ на территории бывшего Советского Союза в Украине начался настоящий мелиоративный бум. После реорганизации управления водным хозяйством, когда в области были созданы специализированные водохозяйственные организации с мощной материальной базой (трест «Полесьеводстрой», филиал Киевского проектного института «Укргипроводхоз» и т. д.) гидромелиоративные работы стали на государственную основу. Научному обоснованию и кадровому обеспечению гидромелиорации на Ровенщине способствовало размещение в областном центре крупнейшего в Союзе и единственного в Украине специализированного водохозяйственного вуза – Украинского института инженеров водного хозяйства (в настоящее время – Национальный университет водного хозяйства и природопользования). Развернулись крупномасштабные мелиоративные работы как в Полесских районах, так и в лесостепной зоне Ровенской области. Только за десять лет (с 1966 по 1976 год) в Ровенской области было построено и реконструировано осушительных систем на площади 169,5 тыс. га, образовано около 5 тыс. га оросительных пастбищ. За это время в хозяйствах области было осушено больше 217 тыс. га заболоченных и переувлажненных земель.

Динамика капитальных вложений в мелиорацию до 1990 г. в целом по Украине характеризуется четкой тенденцией роста стоимости мелиоративных фондов в зоне осушения: с 334,4 млн руб. в 1970 г. до 1559,7 млн руб. в 1980 и до 2767,2 млн руб. в 1990 г. Самое весомое увеличение отмечено в зоне Полесья (особенно в Житомирской и Ровенской областях), где среднегодовой прирост стоимости водохозяйственных сооружений в период с 1980 по 1985 год составил 89,2 млн руб., а с 1985 по 1990 – почти 65 млн руб. (табл. 9.9).

Таблица 9.9

Балансовая стоимость основных мелиоративных фондов в Ровенской области

Показатели	Годы					
	1970	1975	1980	1985	1990	2000*
Балансовая стоимость мелиоративных фондов на конец года, млн руб.	34,2	122,1	232	364,4	414,3	-
Цепные темпы роста, %		357	190	157	114	-
Удельные капитальные вложения, руб./га	143	435	707	995	1122	-
Цепные темпы роста, %		304	163	141	113	-

Примечание: * не определено.

Увеличение стоимости основных мелиоративных фондов на Ровенщине происходило как за счет освоения новых заболоченных территорий, так и через рост капиталоемкости 1 гектара. Отметим, что темп прироста удельных капитальных вложений приближается к темпу прироста их общей

стоимости, что вызвано низким техническим уровнем систем, которые строились в Ровенской области первыми.

Под воздействием нового мелиоративного строительства и реконструкций произошли существенные изменения в динамике удельных показателей технических характеристик осушительных систем. С 1966 по 1990 год в области увеличился удельный вес площадей с закрытым дренажом (почти в 9 раз), двусторонним регулированием водо-воздушного режима (приблизительно в 1,5 раза). Повысилось количество гидротехнических сооружений (более чем в 2 раза) и сооружений на закрытой осушительной сети (в 17 раз). За этот же период протяженность открытых каналов на 1 гектар осушенных земель уменьшилась на 10 %, а закрытых – увеличилась в 12 раз, что связано с резким сокращением количества регулирующих каналов.

Территория Ровенщины как одной из наиболее водообеспеченных областей страны имеет неопровержимые следы переувлажнения, которые проявляются распространением болот, заболоченных и переувлажненных земель (разница между этими категориями заключается в том, что первые характеризуются наличием торфяного горизонта, причем на болотах его мощность превышает 50 см, а последние представляют собой переувлажненные минеральные почвы). Упомянутые разновидности излишне увлажненных земель образуют так называемый мелиоративный фонд, в состав которого включаются и территории, где уже проведено осушение, а также сельскохозяйственные угодья с нормальным увлажнением, но заросшие кустарниками.

Площадь мелиоративного фонда в Ровенской области составляет 534,8 тыс. га, или 27 % от общей площади земель. По этому показателю область занимает одно из первых мест в Украине. В разрезе сельскохозяйственных угодий удельный вес земель мелиоративного фонда достигает 40,7 %. Современное размещение мелиорируемых земель на территории Ровенской области дано на рисунке 9.13.

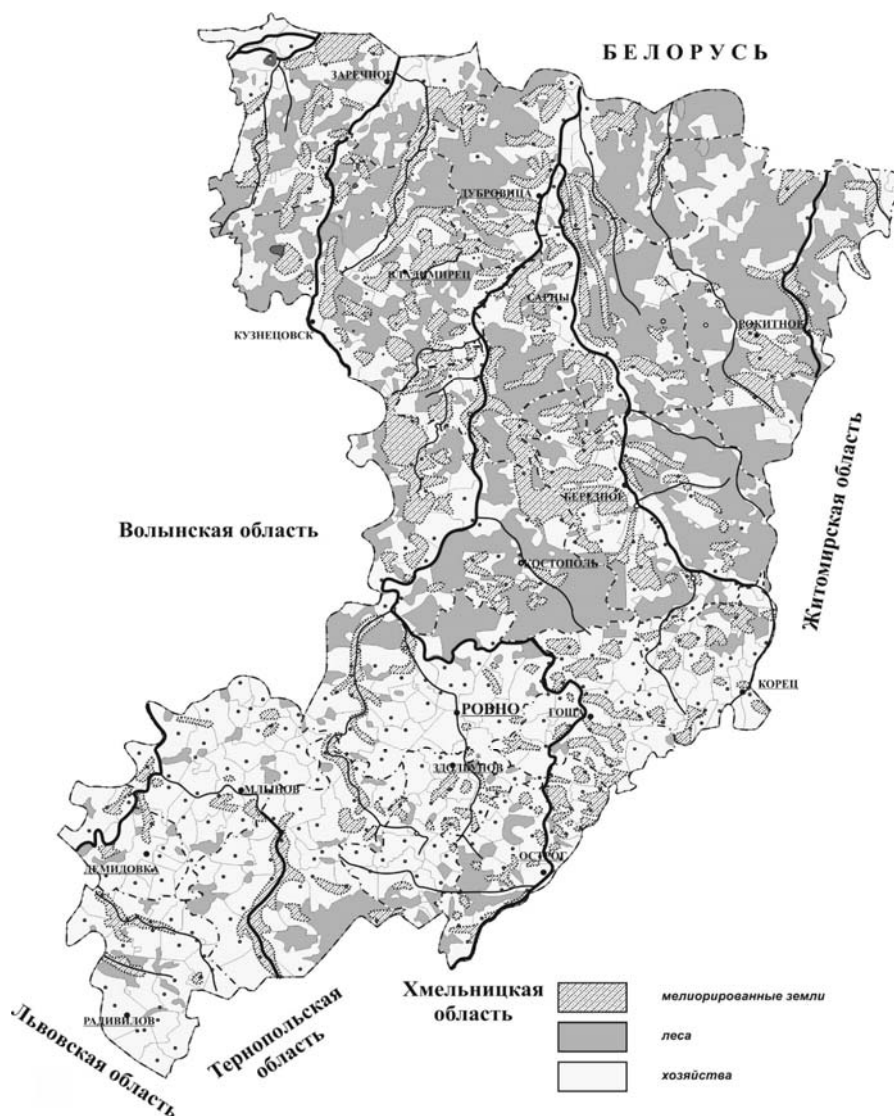


Рис. 9.13. Размещение мелиорируемых земель на территории Ровенской области [36]

По состоянию на 1 января 1976 г. в Ровенской области насчитывалось 280,9 тыс. га мелиорируемых земель, что составляло около половины мелиоративного фонда, а на 1 января 2014 г. – 390, 4 тыс., или 82,8 % общей площади земельно-болотного фонда. За двадцатилетний период объем земель, на которых осуществляется регулирование водно-воздушного режима почвы, вырос в 1,4 раза, нетронутой осталась лишь пятая часть переувлажненных земель (рис. 9.13). Отметим, что с 1994 г. введение в действие новых мелиорируемых земель в области практически прекращено.

На 2014 г. почти 194,6 тыс. га (в сравнении с 270,6 тыс. га в 1990 г.) земель Ровенской области осушено гончарным дренажом, на 234 тыс. га возможно двустороннее регулирование, а польдерные системы занимают более чем 58 тыс. га (табл. 9.10, 9.11, рис. 9.14).

Таблица 9.10

Характеристика мелиоративных систем Ровенской области по количеству и площади

Название района	Количество систем, шт.		Площадь мелиорируемых земель, га		
	общая	в т. ч. польдерных	общая	на польдерных системах	на системах с двухсторонним регулированием
Березновский	29	1	36444	207	16757
Владимирецкий	29	6	34530	4638	30894
Гощанский	14	1	34732	233	4338
Демидовский	3	-	1670	-	632
Дубновский	10	2	16525	2398	11813
Дубровицкий	23	15	39294	12261	21420
Заречненский	15	13	32962	24018	31533
Здолбуновский	19	1	5501	153	1203
Корецкий	24	4	50239	899	24777
Костопольский	12	-	19414	-	5366
Млыновский	13	3	4014	777	889
Острожский	29	1	12281	257	11890
Ровенский	3	-	3408	-	-
Радивиловский	19	7	8160	1308	5314
Рокитновский	19	5	26682	2258	23764
Сарненский	30	14	48686	9104	44182
Всего по области	300	73	374542	58511	234772

Таблица 9.11

Характеристика мелиоративных систем Ровенской области по мелиорируемым и посевным площадям и лесистости

Название района	Площадь района, кв. км	Площадь мелиор. земель, га		Посевные площади на 2012 год, тыс. га		Лесистость на 01.01.2014
		общая	в т. ч. польдерных	общая	в т. ч. польдерных	
Березновский	1715	36444	21,25%	20,6	12,01%	50,3%
Владимирецкий	1942	34530	17,78%	25,5	13,13%	48,0%
Гощанский	691	34732	50,26%	42,0	60,78%	5,7%
Демидовский	377	1670	4,43%	23,5	62,33%	10,3%
Дубновский	1201	16525	13,76%	53,4	44,46%	23,1%
Дубровицкий	1819	39294	21,60%	18,7	10,28%	46,1%
Заречненский	1442	32962	22,86%	16,8	11,65%	38,9%
Здолбуновский	659	5501	8,35%	31,6	47,95%	21,2%
Корецкий	720	50239	69,78%	29,7	41,25%	12,9%
Костопольский	1497	19414	12,97%	26,0	17,37%	38,5%
Млыновский	945	4014	4,25%	58,8	62,22%	11,3%
Острожский	693	12281	17,72%	30,6	44,16%	22,9%
Ровенский	745	3408	4,57%	45,2	60,67%	21,5%
Радивиловский	1176	8160	6,94%	51,3	43,62%	15,8%
Рокитновский	2350	26682	11,35%	26,3	11,19%	57,2%
Сарненский	1972	48686	24,69%	27,5	13,95%	48,1%
Всего по области	19944	374542	18,78%	527,5	26,45%	

В последние годы на Ровенщине особое внимание уделяется сооружению мелиоративных систем с прогрессивными способами осушения, в первую очередь с применением материального (преимущественно гончарного) закрытого дренажа, что не только повышает эффективность и естественную стойкость системы за счет уменьшения испарения и замедления сброса воды из осушаемого массива, но и заметно улучшает условия эксплуатации мелиорируемых земель, расширяя возможности использования сельскохозяйственной техники. На начало 1995 г. почти три четверти осушенных площадей (73,2 %) оборудованы закрытым дренажом. В отдельных районах этот показатель превышал даже 90 % (Гошанский, Здолбуновский, Корецкий), уменьшаясь в Сарненском и Костопольском районах до 56–58 % (рис. 9.15).

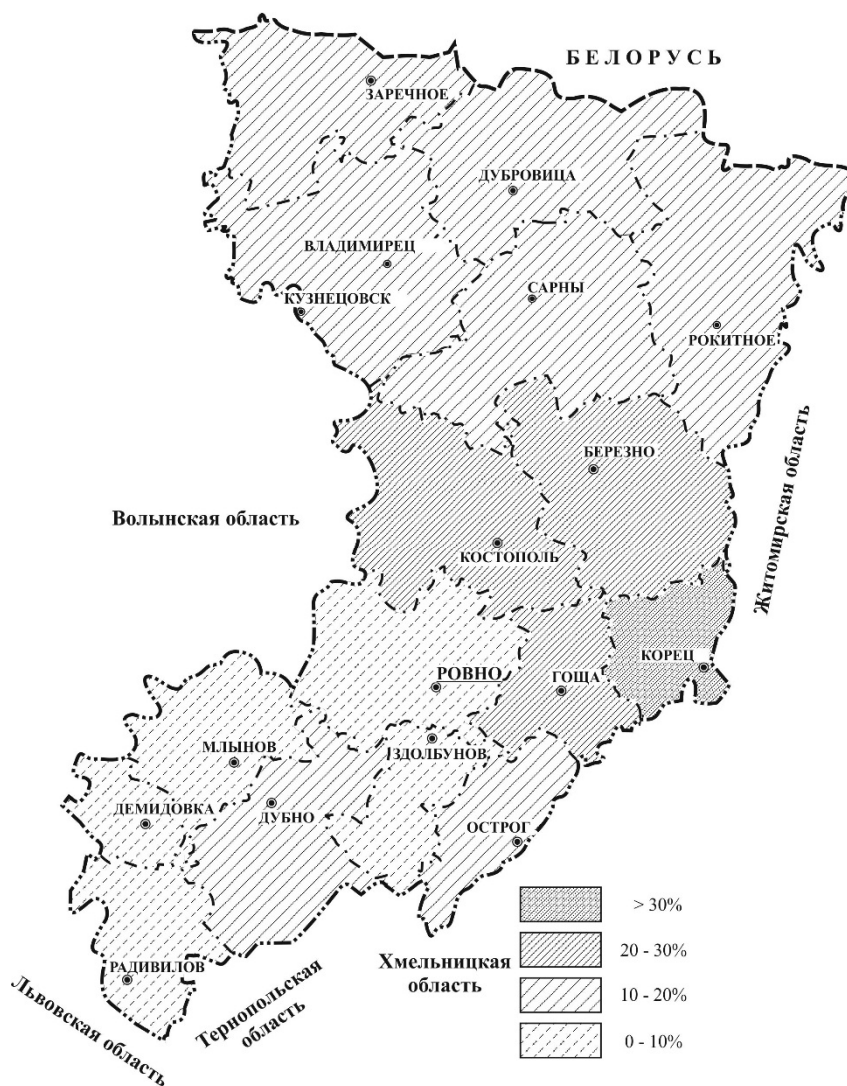


Рис. 9.14. Удельный вес мелиорируемых земель на территории Ровенской области [36]

Важное хозяйственное и природоохранное значение имеет сооружение гидромелиоративных систем с двусторонним регулированием водного режима, которые позволяют аккумулировать сброшенную из осушенного массива воду и использовать ее в засушливые сезоны года. Больше половины существующих в области мелиоративных систем (63 %) предусматривают возможность двойного регулирования влагозапасов. Значительное место занимают осушительно-увлажнительные системы в Острожском (96,5 % всей мелиорируемой площади), Сарненском (90,7 %), Владимирецком (89,6 %) и Рокитновском (88,8 %) районах. Практически отсутствуют системы двойного регулирования в Радивиловском районе.

Общая площадь орошаемых земель в области составляет около 1414 гектаров, из которых больше половины находится в Ровенском, Млыновском, Дубровицком и Костопольском районах. От 100 до 120 гектаров орошаемых земель эксплуатируется в Владимирецком и Сарненском районах. Сравнительно небольшие площади занимают такие земли на Дубенщине (98 гектаров) и Здолбуновщине. Эксплуатация орошаемых земель Ровенщины является неудовлетворительной, потому что в результате отсутствия запасных частей для оросительной техники, высокой стоимости электроэнергии, масел и по другим причинам с 1995 года на этих землях не проводилось постоянное орошение.

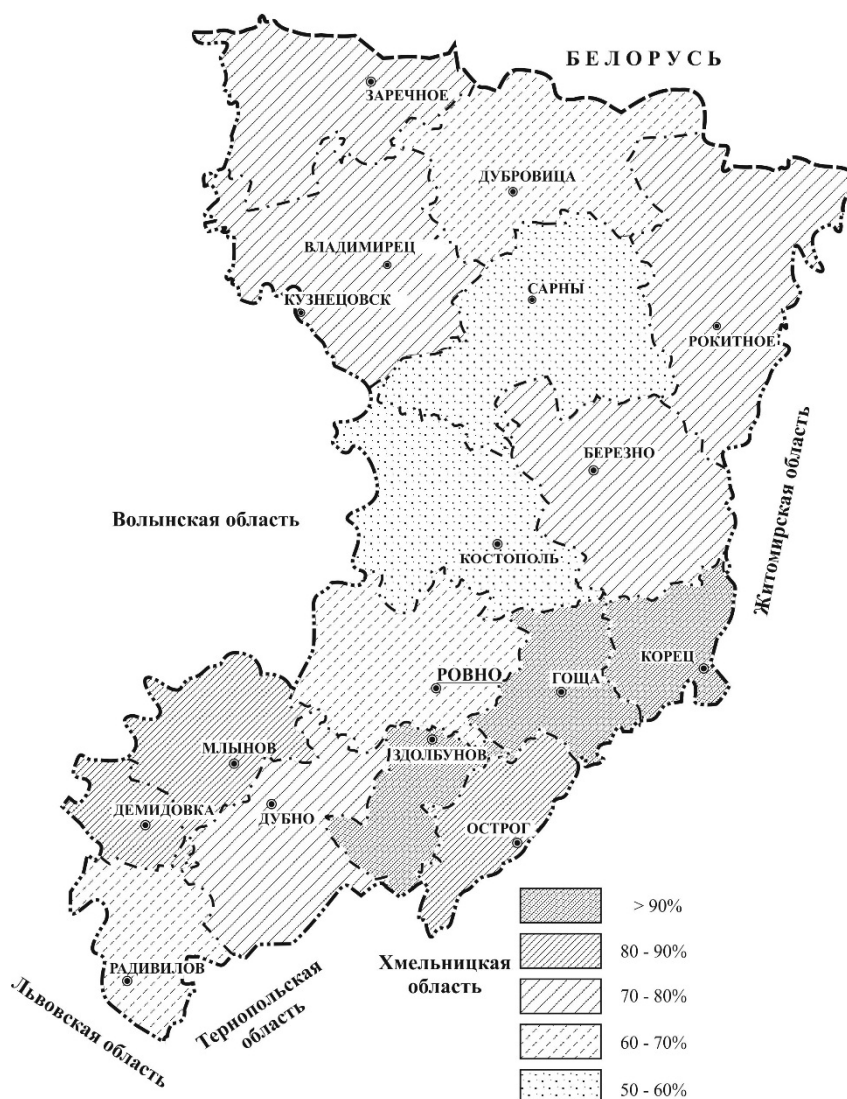


Рис. 9.15. Удельный вес закрытого дренажа от общей площади мелиорируемых земель [36]

Сегодня на территории области действуют почти 300 гидромелиоративных систем, площади которых колеблются в широком диапазоне – от 21 га до 19,9 тыс. га. Осушенные земли используются на 311 сельскохозяйственных предприятиях области, а совокупное число землевладельцев и землепользователей превышает 98,3 тысячи. Общие ровные осушения выводят область на одно из ведущих мест в Украине, что было отмечено сооружением на Ровенщине (в Костопольском районе, вблизи поворота на г. Березно) памятного знака в честь миллионного осушенного гектара в республике.

По абсолютным показателям осушения выделяются Костопольский (52,4 тыс. га) и Сарненский (50,5 тыс. га) районы. От 30 до 40 тыс. га осушено в Корецком и других полесских районах области. Наименьшие площади осушенных земель имеют Радивилловский и Млыновский районы (соответственно 3,4 и 5,9 тыс. га). Такое распределение отвечает имеющемуся в этих районах земельно-болотному фонду.

Характерной чертой современного развития осушительных мелиораций является подавляющее проведение культуртехнических работ, реконструкций построенных осушительных систем и внедрения природоохранных мероприятий при почти полном прекращении нового мелиоративного строительства (табл. 9.12). Наряду с этим часто наблюдаются запущенность осушенных земель, пренебрежение элементарными правилами эксплуатации построенных гидромелиоративных систем и негативные экологические последствия массового мелиоративного строительства.

Необходимо отметить, что все мелиоративные работы в той или иной степени (в зависимости от уровня изучения процессов, которые происходят при осушении) сопровождалась природоохранными мероприятиями. Но со временем беспрекословным стал факт их несовершенства из-за недостаточности научного обоснования.

Мелиоративное строительство в Ровенской области в течение 1990-1996 гг.

Показатели	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Культуртехнические работы на сельскохозяйственных угодьях, тыс. га	9,7	-	11,4	-	1,6	1,8	8,1
Капитальные вложения в водохозяйственное строительство в сравнительных ценах, млн. грн (рассчитано в переводе)	28,6	23,1	12,4	3,5	2,8	1,3	0,1

Природоохранные мероприятия базировались на региональном подходе при проектировании осушительных систем, а также совместительстве объектов мелиорации с социальной средой. Иначе говоря, они осуществлялись только на стадии проектирования гидромелиоративных систем и на практике заключались преимущественно в следующем:

- строительстве систем двустороннего действия;
- строительстве польдерных речных систем в зоне торфяных почв;
- строительстве водооборотных систем и систем из мало- или безуклонным дренажом;
- реконструкции систем одностороннего действия, которые были построены раньше.

Ситуация изменилась в 80-е годы, когда в области была разработана долговременная (до 2000 г.) программа дальнейшего мелиоративного переобустройства территории. В разработанных в то время «Рекомендациях по проектированию осушительных систем в Украинской ССР» был рассмотрен вопрос влияния осушения на окружающую среду и установлен перечень необходимых природоохранных мероприятий (табл. 9.13).

Основой развития мелиорации стало максимальное увеличение объемов работ по реконструкции осушительных систем и снижение до минимума объемов нового водохозяйственного строительства. Именно в этот период были выполнены мероприятия, которые значительно улучшили мелиоративное состояние осушаемых земель и экологическую ситуацию в целом.

Но в реализации программы были сделаны лишь первые шаги – волна антимелиоративных настроений, которая докатилась уже до правительственных вершин, а за ней развертывание «перестройки» со следующими государственно-политическими потрясениями, вызвали свертывание мелиоративных работ на Полесье, в том числе и на Ровенщине.

Таблица 9.13

Основные мероприятия по охране окружающей среды при осушении

Цель и направление природоохранных мероприятий	Составляющие природоохранных мероприятий
Для сохранения и повышения производительности почв	запрет осушения мелкозалежных торфяников
	использование торфо-болотных почв только для многоразовых сенокосов
	противопожарные мероприятия
	залесение слабопродуктивных песчаных почв
Для предупреждения ухудшения водного режима осушенных и прилегающих земель	создание польдерных и водооборотных систем, строительство ненаклонного и малонаклонного дренажа
	запрещение несогласованного сопряжения и углубления русел рек
	ограничение глубины дрен, коллекторов, нагорных каналов и выпрямление рек-водоприемников
	прогнозирование изменения гидрологических условий прилегающих территорий
Для предупреждения водной и ветровой эрозии	сохранение лесных насаждений вдоль рек, которые регулируются
	создание водоохранных лесных полос вдоль водоприемников
	противоэрозионные агротехнические мероприятия
Для сохранения и преумножения фауны	запрет использования гербицидов, пестицидов, нитратов
	создание рыбоохранных сооружений
	сохранение бобровых поселений и т. д.

Кризис, который поразил экономику Украины практически свел на нет эффективность мелиораций. Больше того, существующая нехватка финансирования создала ситуацию, когда даже поддержание систем в технически исправном состоянии стало неразрешимой проблемой. По этой же причине практически не осуществляются реконструкции осушительных систем и не проводятся природоохранные мероприятия.

В течение всего периода развития осушительных мелиораций основное внимание уделялось экономическим преимуществам регулирования водно-воздушного режима почвы, без надлежащего

изучения и прогнозирования изменений, которые происходят в окружающей природной среде. Именно поэтому в 80-х и 90-х годах в некоторых регионах проявились первые негативные экологические последствия мелиорации: пересыхание источников, снижение уровней подземных вод, деградация грунтового покрова и т. д. Это определило необходимость проведения комплексных научных исследований с целью разработки конкретных рекомендаций относительно экологического обоснования осушения и оценки влияния хозяйственной деятельности на природные комплексы.

Литература

1. Изменение растительности и флоры болот УССР под влиянием мелиорации / Л. С. Балашев, Т. Л. Андриенко, А. И. Кузьмичев [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1982. – 290 с.
2. Типология лугов Украины и их рациональное использование / Л. С. Балашев, Л. М. Сипайлова, В. А. Соломаха [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1988. – 240 с.
3. Будз М. Д. Влияние осушения на режим грунтовых вод на землях осушительной системы в верховьях р. Стоход : отчет. – Ровно: УИИВХ, 1979. – 81 с.
4. Будз М. Д., Комиссарчук А. А., Шабельникова З. А. Изучение гидрогеолого-мелиоративного режима осушаемых земель Западного региона УССР СВЧ-радиометрией. – Ровно: УИИВХ, 1979. – 134 с.
5. Географические проблемы осушительных мелиораций на Украине / М. Д. Будз, М. В. Корбутяк, И. Н. Коротун [и др.] // Физ. география и геоморфология. – Вып. 34. – Киев: Выща школа, 1987. – С. 68–77.
6. Воейков Л. И. Климат Полесья // Приложение к «Очерку работ Западной экспедиции по осушению болот». – СПб., 1899.
7. Вознюк С., Мошинський В., Вознюк Н. Парниковий ефект можна контролювати (за матеріалами Варшавського міжнародного семінару) // Водне господарство України. – 2001. – № 3–4. – С. 2–7.
8. Вознюк С. Т., Клименко М. О., Лико Д. В. Ґрунтові ресурси Західного Полісся України та проблеми їх використання // Українське Полісся: вчора, сьогодні, завтра: Збірник наукових праць. – Луцьк: Надстир'я, 1998. – С. 30–34.
9. Использование результатов анализов почв в целях повышения их плодородия и определения потребности в мелиорациях / С. Т. Вознюк, Ф. Г. Крыштоф, И. Я. Половицкий [и др.]. – Киев: УМК ВО, 1988. – 167 с.
10. Вознюк С. Т., Кузьмич П. К., Волкова Л. А. Агромелиоративные приемы обработки дерново-подзолистых почв Украинского Полесья // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 1. – С. 210.
11. Мелиоративное почвоведение с основами гидрологии / С. Т. Вознюк, П. К. Кузьмич, Ф. Г. Крыштоф [и др.]. – Львов: Вища школа, 1984. – 264 с.
12. Волкова Л. А. Изменение гидравлической проводимости почв под воздействием агромелиоративных приемов ее обработки // Краевые задачи теории фильтрации : тез. докл. Всесоюз. совещания-семинара. – Ровно, 1979. – Ч. 2. – С. 54–57.
13. Гордийчук А. С. Эффективность почвозащитного земледелия на торфяных почвах Западного Полесья УССР // Мелиорация и водное хозяйство. – М., 1988. – Вып. 12. – С. 8–11.
14. Децик Т. А. Изменение водного режима сосняков на водосборах осушенных сельхозугодий Полесья // Антропогенные изменения, охрана растительности болот и прилегающих территорий. – Минск: Наука и техника, 1981. – С. 152–155.
15. Докучаев В. В. К вопросу об осушении болот вообще и в частности об осушении Полесья // Соч. – Т. 1. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 493 с.
16. Дорофеев А. А. О влиянии осушительных сооружений на биогеоценозы прилегающих территорий // Вопросы оптимизации растительного покрова Верхневолжья. – Калинин: Изд-во Калинин. ун-та, 1981. – С. 64–69.
17. Зайдельман Ф. Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. – М.: Колос, 1975. – 309 с.
18. Зайдельман Ф. Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 320 с.
19. Зайко С. М., Санько П. М., Башкевич Л. Ф. Влияние осушительной мелиорации на смежные болотные массивы // Антропогенные изменения, охрана растительности болот и прилегающих территорий. – Минск: Наука и техника, 1981. – С. 140–155.
20. Історія міст і сіл УРСР. Рівненська область. – К., 1973. – 412 с.
21. Канівець В. І. Життя ґрунту. – К.: Аграрна наука, 2001. – 131 с.
22. Каркущев Г. Н. Гидрологические аспекты осушительных мелиораций. – К.: Наукова думка, 1982. – 158 с.
23. Кваша М. К. Ґрунти Рівненської області. – Львів: Каменярь, 1970. – 99 с.
24. Киленварлиц А. Ф. Изменение почвенной фауны болот под влиянием мелиорации и сельскохозяйственного освоения. – Минск: Изд-во АН БССР, 1961. – 192 с.
25. Клименко Н. А. Почвенные режимы гидроморфных почв Полесья УССР. – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 174 с.
26. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – С. 5–190.
27. Ковда В. А., Розанов Б. Г. Изменение почвенного покрова под влиянием мелиораций // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 7. – С. 45–51.

28. Кожин К. И., Криничный С. Г. Влияние мелиоративных работ на фаунофауну северных районов Житомирского Полесья // Животный мир Белорусского Полесья, Охрана и рациональное использование. – Гомель: 1983. – С. 245.
29. Козлова Т. А. Использование мелиоративных земель Полесья УРСР. – Киев: Наук. думка, 1982. – 78 с.
30. Козловский Б. И. Влияние осушительных мелиораций на природные комплексы // Мелиорация и водное хозяйство. Комплексное использование и охрана водных ресурсов : инф. сб. ЦБНТИ Госконцерн «Водстрой». – М., 1991. – Вып. 3. – С. 71–78.
31. Козловский Б. И. Понятие о мелиоративном мониторинге на осушаемых землях // Вопросы экологии и мелиорации заболоченных земель: сб. науч. тр. – Шацк, 1991. – С. 16–21.
32. Природные и экономические аспекты гидротехнических мелиораций в Западном Полесье УССР / И. Н. Коротун, М. Д. Будз, М. В. Корбутяк [и др.] // Природно-мелиоративный мониторинг в СССР : сб. ст. – М.: МФГО, 1984. – С. 55–64.
33. Коротун И. Н., Коротун С. И. Исследование низших рангов агроландшафтных систем в Западном Полесье Украины // Агроландшафтные системы и их мониторинг : материалы междунар. конф. – Киев: Наук. думка, 1993. – С. 24–27.
34. Коротун І. М., Коротун Л. К. Географія Рівненської області. – Рівне: Рівнен. ін-т підвищення кваліфікації педагогічних кадрів, 1996. – 274 с.
35. Коротун І. М., Коротун С. І., Година С. В. До проблеми геоморфологічного обґрунтування реконструкції осушувальних систем у Західному Поліссі України // Українська геоморфологія: стан і перспективи : матер. міжнар. наук.-практ. конф. – Львів: Меркатор, 1997. – С. 125–128.
36. Коротун С. І. Еколого-географічна оцінка стану меліорованих земель регіону (на прикладі Рівненської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.11. – Львів, 2007. – 150 с.
37. Коротун С. І. Використання геоморфологічних показників при оцінці стану і роботи ГМС // Українська геоморфологія: стан і перспективи : матер. міжнар. наук.-практ. конф. – Львів: Меркатор, 1997. – С. 208–211.
38. Коротун С. І. До питання просторового еколого-економічного аналізу території Західного Полісся на прикладі Рівненської області // Економіка, общество, рынок : научн. зап. – Харьков: ХИУ, 1998. – Вып. 3. – С. 181–186.
39. Коротун С. І. Екологічна регламентація використання земельних та водних ресурсів у сільськогосподарському виробництві Рівненської області // Історія української географії: Всеукраїнський науково-теоретичний часопис. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2003. – Вып. 8 (2). – С. 90–97.
40. Коротун С. І. Історія розвитку меліорацій на території Західного Полісся (на прикладі Рівненської області) // Історія української географії: Всеукраїнський науково-теоретичний часопис. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2004. – Вып.1 (9). – С. 45–51.
41. Коротун С. І. Оцінка ефективності використання осушених земель у Західному Поліссі України з урахуванням природних умов // Регіональна політика України: наукові основи, методи, механізми : зб. наук. праць. за матер. допов. міжнар. наук.-практ. конфер. (Львів, 21–23 травня 1998 р.). – Львів: НАН України Ін-т регіональних досліджень, 1998. – Ч. III. – С. 28–32.
42. Коротун С. І. Теоретичні аспекти оптимізації водорегулювання осушувальних земель // Україна та глобальні процеси: географічний вимір : зб. наук. праць. – Київ ; Луцьк: Ред-вид. відд. «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2000. – Т. 3. – С. 36–38.
43. Крыштоф В. Г., Троцюк В. С. К вопросу изменения водопроницаемости дренированных почв легкого мехсостава в процессе эксплуатации дренажа. – Ровно, 1979. – С. 205–208.
44. Мольчак Я. А. Особенности формирования и расчета паводочного стока в условиях осушительных мелиораций // Экология и гидравлика будущего : сб. материалов межвед. Всесоюз. совещания. – Ч. 1. – М., 1990. – С. 31–36.
45. Мошинский В. С. Изменение гидрографической сети и площадей водосборов в результате осушительных мелиораций на территории Ровенской области Украины // Экологические аспекты осушительных мелиораций в Украине : тезисы докл. конф. – Киев: УкрНИИГиМ, 1992. – С. 30–32.
46. Мошинский В. С. Некоторые экологические последствия использования осушаемых земель в Ровенской области Украины // Модернизация мелиоративных систем и пути его повышения эффективности использования осушенных земель : материалы междунар. конф. – Минск, 1998. – С. 25–30.
47. Никольский А. М. Животный мир Полесья (Приложение к «Очерку работ Западной экспедиции по осушению болот»). – СПб., 1899.
48. Олиневич В. А. Эволюция торфяных почв УССР в условиях комплексной мелиорации : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Л. ; Пушкин. 1985. – 32 с.
49. Оценка и контроль изменений в природных комплексах под влиянием осушения / В. Е. Алексеевский [и др.] ; под ред. П. И. Коваленко и В. Е. Алексеевского. – Киев: УкрНИИГиМ, 1992. – 188 с.
50. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898). – СПб., 1899. – С. 6–10.
51. Парфенов В. И., Козловская Н. Ф. Флора Полесья // Проблемы Полесья. – Минск: Наука и техника, 1972. – Вып. 1. – С. 43–46.
52. Парфенов В. И., Смолинский Н. В. Влияние гидротехнических мелиораций на природные комплексы Полесья // Проблемы Полесья. – Минск: Наука и техника, 1978. – Вып. 5. – С. 172–195.

53. Приложение к т. XII Трудов Общества исследователей Волыни. – Житомир, 1914.
54. Природа Ровенської області / під ред. К. І. Геренчука. – Львів: Вища шк., 1976. – 156 с.
55. Растительный мир Украинского Полесья в аспекте его охраны / Т. Л. Андриенко, Ю. Р. Шеляг-Сосонко. – Киев: Наук. думка, 1983. – 216 с.
56. Ревера О. З. Годовой сток правобережных притоков реки Припять и условия его формирования // Проблемы мелиорации Полесья. – Минск, 1970. – Ч. 2. – С. 20–25.
57. Ревера О. З., Паламарчук М. Н., Сергиенко А. И. Влияние осушения болот и заболоченных земель Припятского Полесья УССР на речной сток и качество вод // Проблемы комплексной мелиорации земель и охрана природы : материалы Всесоюз. науч.-техн. совещания (Сарны, май 1981 г.). – Киев: УкрНИИГиМ, 1981. – С. 54–58.
58. Рокочинський А. М. Структурна модель меліоративної системи та меліорованого поля в задачах оптимізації водорегулювання осушуваних земель // Вісник РДТУ : зб. наук. пр. – Рівне, 2001. – Вип. 26. – С. 115–126.
59. Танфильев Г. И. Геоботанический очерк Полесья (Приложение к «Очерку работ Западной экспедиции по осушению болот»). – СПб., 1899.
60. Фурман В. М. Структурные мелиорации как фактор повышения плодородия осушенных торфяных почв западного Полесья УССР. – Киев, 1989. – 201 с.
61. Энциклопедический словарь / под ред. И. Е. Андреевского, Ф. Ф. Петрушевскаго. – Т. XIX. – СПб: Типо-Литография И. Е. Ефрона, 1896.
62. Яцик А. В., Ревера О. З. Осушительная мелиорация и речной сток. – Киев: Знание, 1986. – 24 с.

Глава 10. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЕКТОВ В ЗОНЕ ПОЛЕСЬЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

10.1. Необходимость реализации водохозяйственно-мелиоративных проектов и предпосылки реформирования механизма их эколого-экономической оценки

Современное состояние функционирования водохозяйственно-мелиоративной отрасли характеризуется снижением эффективности использования мелиорированных земель и их роли в сельскохозяйственном производстве, что является следствием экономического кризиса, который охватил все отрасли экономики на современном этапе ее развития. Сегодня экономические и экологические проблемы гидромелиорации приобретают исключительную актуальность.

Такое положение сложилось, в основном, из-за негативного отношения общества к водохозяйственно-мелиоративной отрасли. По мнению В. М. Трегобчука [57], многочисленные недостатки в строительстве и эксплуатации мелиоративных систем в прошлом, использовании водных и земельных ресурсов обуславливают преимущественно справедливую критику относительно экономической эффективности и экологической целесообразности гидромелиоративных мероприятий. Позиция критиков в большинстве случаев сводится к тому, что мелиоративные мероприятия при их небольшой эффективности требуют большого количества ресурсов. Значительные недостатки в организации мелиоративных мероприятий, использовании мелиорированных земель при их высокой стоимости снизили эффективность аграрного производства на этих землях и отдачу капитальных вложений. Наблюдается низкая урожайность зерновых, кормовых и других культур, несвоевременное и неполное освоение мелиорированных земель, отсутствие комплексного ведения работ, нерациональное использование водных ресурсов и потери воды, недостатки в процессе проектирования и эксплуатации и тому подобное. Кроме того, экономическая эффективность вложений в водохозяйственно-мелиоративные мероприятия в большей степени зависит от того, насколько полно аграрные предприятия используют потенциальные возможности мелиоративных систем, а также в какой степени водохозяйственные организации учитывают агротехнические, организационно-хозяйственные и экономические требования сельского хозяйства. Именно поэтому в последние десятилетия в развитии мелиорации и водного хозяйства в Украине обострился вопрос о социально-экологической приемлемости и экономической целесообразности реализации мелиоративных и водохозяйственных проектов.

Однако, несмотря на определенные недостатки, мелиорация земель всегда играла важную роль в системе сельскохозяйственного производства. Она является одним из главных направлений интенсификации сельского хозяйства и одним из основных факторов повышения продуктивности земельных угодий [57], поскольку в условиях ограниченности качественных земельных ресурсов существует единственный путь дальнейшего роста продовольственного фонда – с каждой единицы земельных угодий получать все больше продукции.

В данном контексте именно гидротехнические виды мелиорации обеспечивают улучшение почв, отличаются долговременным действием и создают предпосылки для включения в оборот новых земельных участков. Как раз в условиях гидромелиорации создаются реальные предпосылки для устойчивого ведения сельскохозяйственного производства, получения программируемых урожаев и достижения высоких экономических показателей.

Потребности в развитии мелиорации земель определяются потребностями общества в продукции земледелия, увеличение которой в условиях Украины возможно только за счет интенсификации сельскохозяйственного производства, включая мелиоративное освоение засушливых и переувлажненных земель.

Кроме того, целью мелиорации должно быть не только увеличение сельскохозяйственной продукции, но и сохранение и улучшение плодородия почв при рациональном использовании земельных, водных и других ресурсов и охраны окружающей среды.

И, наконец, водохозяйственные и мелиоративные мероприятия как меры по регулированию водно-воздушного режима почв снова выходят на передний план в связи с глобальными изменениями климата, когда чрезвычайную актуальность приобретает проблема адаптации аграрного производства к новым климатическим условиям.

Переход Украины от административно-командной к рыночной экономике коренным образом изменил содержание хозяйственной деятельности, ее цели, методы и формы во всех отраслях экономики страны. Введение рыночных механизмов управления и организации любой деятельности предполагает прежде всего реформирование форм хозяйствования, изменение собственности на средства

производства и предметы труда, появление новых механизмов финансирования производственной деятельности, ориентацию частных владельцев капитала на получение дохода и тому подобное. Поэтому особое внимание сегодня должно уделяться развитию и функционированию природохозяйственных отраслей, где экономический рост ограничивается требованиями к рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды. Именно к таким отраслям и относится мелиорация земель, которая находится на пересечении сельского и водного хозяйства и направлена на улучшение использования природных объектов, а также неблагоприятных природных условий для различных хозяйственных и природоохранных целей [40, 42].

По данным годовых и аудиторских отчетов Госводхоза Украины в последнее десятилетие в мелиоративном земледелии появился ряд проблем, которые обобщены на рисунке 10.1. К таким проблемам приводит недостаточное обеспечение материально-техническими ресурсами, удобрениями, отсутствие необходимых агро-мелиоративных мероприятий, перебои в энергоснабжении, уменьшение объемов работ по содержанию и ремонту мелиоративной техники, потеря квалифицированных кадров, неполное использование научных разработок, недостаточное информационное обеспечение хозяйств и тому подобное. В худшем состоянии находится внутривладельческая сеть мелиоративных систем, ремонт которой хозяйства производят собственными силами, не имея для этого ни необходимой техники, ни квалифицированных кадров, ни достаточных средств. На сегодняшний день в хозяйствах Украины в наличии около 51 % необходимых машин и механизмов, из которых лишь 31 % находятся в рабочем состоянии.

Для преодоления перечисленных проблем возрастает потребность в строительстве новых и реконструкции действующих мелиоративных систем, ведь в соответствии с экологическим правилом «старого автомобиля» со временем эколого-социально-экономическая эффективность технических устройств, обеспечивающих управление природными системами, снижается, а экономические затраты на их поддержание возрастают [48]. И мелиоративные системы, которые были построены до 80-х годов, на сегодняшний день характеризуются недостаточным техническим уровнем, не могут обеспечить необходимый водно-воздушный режим почвы и, таким образом, не выполняют своих прямых функций. На многих системах сложилась неблагоприятная гидромелиоративная и экологическая ситуация из-за значительных потерь воды, подтопления, засоления и иссушения почв, чрезмерной химизации и др. Кроме того, даже технически исправные действующие мелиоративные системы, особенно осушительные, не полностью отвечают современным требованиям прогрессивного аграрного производства и обеспечения экологического равновесия территории, они являются морально устаревшими и также нуждаются в реконструкции и модернизации.

Реконструкция мелиоративной системы – это комплекс мероприятий, направленных на повышение технического уровня действующих систем с целью увеличения эффективности использования природных ресурсов путем изменения конструкций и основных параметров системы и ее элементов, замены морально устаревшего оборудования [32, 42, 55, 60]. Иными словами, реконструкция действующих мелиоративных систем включает комплексное их переоборудование с учетом достижений научно-технического прогресса. При реконструкции внедряются более совершенные технологии водорегулирования, средства механизации и автоматизации, уменьшаются расходы на эксплуатацию, обеспечивается соблюдение требований экологии и охраны окружающей природной среды. Необходим поиск альтернативных вариантов развития гидротехнических видов мелиорации, оптимальных типов и конструкций оросительных и осушительных систем, более эффективных, надежных и экологически безопасных путей снижения материало-, энерго-, фондо-, трудо- и водоемкости сельскохозяйственной продукции, а также увеличение производства продовольствия и сырья [57].

Однако следует иметь в виду, что одна реконструкция не всегда может дать желаемый эколого-экономический эффект. Нужен целый комплекс мер: рациональное использование водных и земельных ресурсов, увеличение надежности мелиоративной сети, снижение эксплуатационных расходов, улучшение уровня агротехнических мероприятий, обеспечение производства техникой, кадрами, необходимыми ресурсами и т. п. Результатом реконструкции должны быть рост производительности труда и объемов производства сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях при условии соблюдения экологических требований. Обновление мелиоративных систем позволяет повысить их техническую и экологическую надежность и увеличить срок эксплуатации. Ведь тип экономического роста на современном этапе развития производительных сил в Украине должен перейти с экстенсивного в интенсивное, из количественного в качественный и отрицательный количественный рост должен компенсироваться качественным совершенствованием [48]. Как показывает опыт, реконструкция мелиоративных систем экономически выгодна. Ее средняя стоимость на 20–30 % дешевле нового строительства и позволяет увеличить производительность земель на 25–40 % [60].



Рис. 10.1. Основные проблемы развития мелиоративной отрасли в Украине на современном этапе развития

Таким образом, реконструкция сегодня – наиболее оптимальное направление осуществления инвестиций в мелиорацию. Ведь одной из причин, что приводит к экологическим и экономическим проблемам, является несовершенство технологических процессов современного производства.

Основными целями и направлениями реконструкции мелиоративных объектов на современном этапе развития должны быть [22, 56, 65]:

– внедрение прогрессивных технологий мелиоративного земледелия и рационального использования земельных и водных ресурсов;

- оперативное управление технологическими процессами;
- автоматизация водораспределения на больших системах;
- совершенствование поливной техники, средств автоматизации и водоучета;
- применение водосберегающих специальных способов полива (капельное, внутрпочвенное, аэрозольное, синхронно-импульсное);
- совершенствование способов транспортировки воды, обновление парка дождевальных машин;
- применение ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий,
- повышение надежности мелиоративных систем;
- переход к поверхностному поливу на новой технико-технологической основе;
- механизация эксплуатационных работ на мелиоративных системах;
- оптимизация севооборотов, совершенствование структуры посевов;
- создание водоохраных зон, берегозащитных лесополос, агроландшафтное обустройство территории;
- строительство закрытого дренажа на системах с открытой сетью;
- переоборудование систем одностороннего действия на системы с двусторонним регулированием водно-воздушного режима почв и тому подобное.

Такой объем работ по реконструкции и незавершенному строительству требует соответствующего финансового обеспечения. Учитывая кризисное состояние экономики, отсутствие достаточных инвестиций и усиление экологических требований, специалисты прогнозируют резкое сокращение или полное прекращение нового мелиоративного строительства в ближайшие 5–10 лет [56]. Расширение площадей осушаемых и орошаемых земель может иметь локальный характер за счет средств отдельных землепользователей (фермеров, коллективных сельскохозяйственных предприятий, ассоциаций и т. п.).

Как показывает отечественный и зарубежный опыт [15], мелиорация – это отрасль, которая не может существовать без поддержки государства и общества, поэтому ее нельзя полностью перевести на коммерческую основу. Однако современные условия производства и хозяйствования в Украине диктуют определенные требования к переходу от централизованного финансирования мелиоративных мероприятий к смешанному, с участием частных структур. Согласно литературным данным [2, 4], если учесть важную роль инвестиций в реконструкцию и техническое перевооружение мелиоративных систем, инвестиционная стратегия в сфере водного хозяйства и мелиорации земель тесно связана со стратегией регионов, поэтому основными источниками инвестиций в мелиорацию должны стать их внутренние ресурсы, а также централизованные государственные капитальные вложения.

Таким образом, необходимость существования и развития данной отрасли в Украине сомнений не вызывает. Однако современный этап ее развития характеризуется комплексом нерешенных задач, связанных прежде всего с недостаточностью финансирования, что, в свою очередь, обусловлено отсутствием заинтересованности со стороны как государства, так и потенциальных частных инвесторов. Решение данной проблемы возможно только путем перестройки системы экономических отношений в отрасли, внедрения эффективных рыночных методов управления и хозяйствования и, как правило, изменения общей методологии и методики экономических расчетов в области водного хозяйства и мелиорации.

Трансформации экономических отношений в Украине, появление новых источников финансирования инвестиционных проектов и необходимость экологизации современного производства требуют пересмотра и усовершенствования традиционных подходов к выбору экологически и экономически оптимальных проектных решений в области природопользования вообще и водохозяйственно-мелиоративной сферы как его составляющей в частности. И если в более рентабельных отраслях этой проблеме уделяется сегодня должное внимание, то в области мелиорации земель вопросы эколого-экономической оценки хозяйственных решений до сих пор остаются недостаточно решенными.

Вопрос осложняется и особенностями функционирования мелиоративных проектов, как объектов природопользования, в сложных и изменчивых условиях окружающей среды, что обязательно необходимо учитывать при выборе лучшего из них для реализации.

Таким образом, совершенствование методологических и методических аспектов эколого-экономической оценки мелиоративных проектов позволит повысить обоснованность принимаемых хозяйственных решений с учетом особенностей создания и функционирования мелиоративных объектов как сложных эколого-экономических систем, поскольку мелиорация земель – это отрасль, которая активно использует природные ресурсы и влияет на экологическое состояние территории.

Осушение и орошение приводит как к постоянным изменениям в природных процессах, которые имеют разное направление, так и к периодическим колебаниям антропогенно или природно зависящих факторов. Реализация любого мелиоративного проекта меняет направленность и интенсивность природных процессов в почве и приземном слое воздуха, распределение водных ресурсов, в результате чего вся экосистема региона приобретает новые свойства [40, 56].

Наряду с положительным влиянием данного процесса на результаты сельскохозяйственного производства преобразование природных условий под влиянием мелиорации достаточно часто сопровождается рядом негативных явлений. Вследствие этого происходит ухудшение экологической ситуации в регионе и снижение эффективности производства на мелиорированных землях.

Такое обострение экологических проблем в последнее десятилетие требует согласования экономических и экологических целей производства, то есть выбора такого соотношения, при котором достигается наибольший совокупный экономико-экологический эффект [57]. Сочетание экономических целей с экологической переориентацией социально-экономического развития является на сегодня наиболее острым вопросом, требующим методологической и методической разработки, ибо технический прогресс должен быть направлен на внедрение экологически приемлемых технологий [16].

Любое воздействие на окружающую среду должно содержать его эколого-экономическую оценку. Однако до некоторого времени при выборе рациональных вариантов хозяйствования учитывались только материальные ресурсы, в результате чего выбирали, как правило, не всегда экологически выгодные варианты, которые обращались значительными потерями, ведь в рамках долгосрочной хозяйственной деятельности действует правило «экологическое является экономическим» [48].

Преодоление проблем низкой эффективности мелиоративных мероприятий, их высокой сметной стоимости, негативного воздействия на природные ресурсы заключается прежде всего в обосновании экологически приемлемых и экономически эффективных стратегий развития аграрного производства на мелиорированных землях (проектных решений) с использованием прогрессивных технологий водорегулирования, поскольку оптимальная стратегия развития сегодня должна базироваться на «экологически допустимых экономических решениях» [16]. Такой подход требует совершенствования процесса проектирования, неотложной переоценки и пересмотра традиционного подхода и самих методологических основ эколого-экономической оценки целесообразности водохозяйственно-мелиоративных мероприятий с учетом отраслевых особенностей. В связи с этим сегодня особый интерес представляет зарубежный опыт стран с развитой рыночной экономикой в оценке экономической привлекательности объекта инвестирования.

Однако, по мнению отечественных ученых [61], имеющаяся информация в большинстве своем не систематизирована, часто носит разрозненный и противоречивый характер, поэтому пока достаточно сложно представить единый методологический подход и четкий методический аппарат оценки экономической эффективности инвестиционных проектов с учетом экологических факторов. Именно поэтому на современном этапе развития отечественной экономической науки существует объективная необходимость в детальном изучении, анализе и систематизации существующих методологических подходов с целью дальнейшего их совершенствования и адаптации к отечественным экономическим условиям и специфике конкретной отрасли.

Итак, на сегодняшний день проблема оценки экологической устойчивости территорий при мелиорации земель и экологической надежности мелиоративных мероприятий до сих пор является предметом дискуссий и научных поисков и исследований, поэтому единого подхода еще не выработано. Значит, есть необходимость и целесообразность использования и развития существующих подходов в зависимости от поставленной цели, задач, сложности и имеющихся информационных возможностей.

С учетом мирового опыта, особенностей мелиорации и общего состояния аграрного производства в Украине необходимо разработать и ввести в действие механизм государственного регулирования экономических взаимоотношений в сфере мелиорации и поддержки сельскохозяйственного производителя на мелиорированных землях за счет льготного налогообложения и кредитования, прямых государственных инвестиций, возмещения за счет бюджета части процентов на кредиты, полученные хозяйствами в коммерческих банках на строительство, реконструкцию и техническое перевооружение внутрихозяйственной мелиоративной сети [56, 65].

Таким образом, безотлагательное решение отраслевых проблем путем создания более технически совершенных и экологически надежных мелиоративных систем, сдвиги и изменения в формах хозяйствования на мелиорированных землях, расширение источников финансирования инвестиционных проектов в мелиорации требуют соответствующего пересмотра традиционных подходов к эколого-экономической оценке инвестиций в водохозяйственно-мелиоративные мероприятия.

10.2. Особенности отечественных подходов к оценке эколого-экономической эффективности финансовых вложений в водохозяйственно-мелиоративные проекты

Гидромелиоративная отрасль как самостоятельная сформировалась в Украине за последние 25–30 лет и находится на пересечении сфер природопользования, сельского хозяйства и гидромелиоративного строительства [65]. Наиболее интенсивно мелиорации здесь развивались в 1966–1990 гг., однако с 1991 г. резко уменьшились государственные капитальные вложения в водное хозяйство вообще, а в мелиоративное строительство – особенно.

Развитие отрасли мелиорации земель в Украине определялось прежде всего теми социально-экономическими сдвигами, которые произошли в стране после Октябрьской социалистической революции. Ликвидация частной собственности на землю, превращение сельского хозяйства в крупное механизированное производство, рост потребностей страны в продовольствии и сырье для промышленности оказались основными социально-экономическими предпосылками для развития мелиорации. Определяющим фактором в развитии отрасли в Украине стали природно-климатические условия, ведь большая территория республики находилась в условиях неблагоприятного водного режима. Разнообразие почвенно-климатических условий (Украинское Полесье, Лесостепь и Степь) требовало дифференцированного подхода к проведению мелиоративных работ.

Накануне Великой Отечественной войны площадь орошаемых земель в Украине составляла 78 тыс. га, осушенных – 730 тыс. га. В первые послевоенные годы (1945–1951) выполнялись работы преимущественно по восстановлению разрушенных в военное время мелиоративных систем. Одновременно проводились технические улучшения. После 1951 г. в связи со строительством Каховской гидроэлектростанции на Днестре и большого регулирующего Каховского водохранилища, находящегося в центре засушливой зоны, были созданы условия для орошения больших массивов земель на юге Украины и в Крыму. В 1951–1965 гг. были построены и введены в эксплуатацию ряд крупных оросительных систем.

Занимая относительно небольшую долю всех сельскохозяйственных угодий (в пределах 5 %), мелиорированные земли имели большое значение в экономике страны. Орошаемые земли обеспечивали хлопком, на осушительных землях выращивалась большая часть овощей, зерна, кормовых, картофеля. Для обеспечения развития гидромелиораций создавались огромные строительные организации, промышленные объекты. Таким образом, мелиорация земель была мощным двигателем развития многих отраслей народного хозяйства страны.

Кроме того, мелиорация земель выступала необходимым условием экономического и социального развития регионов страны, пропорционального развития отраслей народного хозяйства, а также служила определенным политическим целям, а именно: достижение хлопковой независимости страны, обеспечение населения рисом отечественного производства.

Резкое увеличение масштабов мелиоративных работ и объемов государственных капитальных вложений выдвинуло на первый план проблему обеспечения высокой и быстрой отдачи этих вложений. Успешное решение данной проблемы предусматривало расширение и углубление научных исследований о возможностях и путях повышения экономичности мелиоративных мероприятий, ведь осуществление капитальных вложений в землю имеет целью рост экономического плодородия почвы. Реализация гидротехнических мелиораций была связана с большими затратами труда и средств, в том числе в смежных отраслях, поэтому выявление путей сокращения таких расходов имело первостепенное значение.

В основе экономических исследований того периода лежат теории Карла Маркса, который рассматривал мелиорацию как затраты капитала, которые обуславливают прочные, коренные улучшения неблагоприятных природных условий мелиорированных земель, обеспечивают возможность создания на определенном участке земли искусственным путем таких условий для развития сельскохозяйственного производства, которые имеют место на другом участке от природы. Объективную необходимость интенсификации земледелия и проведения мелиорации вызывает ограниченность лучших земель в условиях возрастающего спроса на сельскохозяйственную продукцию.

Проведение мелиорации позволяет не только осваивать новые земли, но и осуществлять ряд других воздействий на землю, повышает уровень ее экономического плодородия [19]. Если в промышленности интенсификация производства достигается путем замены устаревших средств на более современные, то землю заменить ничем невозможно, поэтому важным направлением интенсификации аграрного производства является улучшение ее плодородия. Экономическая эффективность сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях повышается, если дополнительные затраты на мелиоративные мероприятия оправдываются дополнительной продукцией, получаемой

благодаря их осуществлению, то есть если такие меры обеспечиваются не только ростом стоимости продукции, но и снижением ее себестоимости и получением дополнительной прибыли [31]. Кроме того, рост количества и стоимости продукции земледелия может обеспечить и косвенный эффект, который проявляется в том, что мелиоративные мероприятия дают возможность более полно использовать и немелиорированные земли.

Итак, методологический подход к экономическому обоснованию проектных решений в Украине, как и в других бывших социалистических странах, базировался на основных принципах и законах социализма и был ориентирован на достижение социально-экономических целей с минимальными затратами общественного труда [18, 54]. Соответственно методы и показатели экономической оценки мелиоративных мероприятий традиционно были ориентированы на административно-плановую экономику и не отражали реальных экономических процессов. Принятие, разработка и реализация методов обоснования экономической эффективности мелиоративных проектов основывается на соответствующей технологической и нормативной базе, определяющей достаточно ограниченные возможности в определении критериев экономической эффективности и их составляющих.

Вопросы о методах расчета экономической эффективности капитальных вложений в народное хозяйство начали изучаться в 20–30-х годах прошлого века. Основные принципы советской теории обоснования целесообразности капитальных вложений были заложены еще в начале 50-х годов в ходе дискуссий по экономическому содержанию категории эффективности, критериев и системы показателей эффективности капиталовложений и т. д.

Почти вся нормативная и методологическая база, регламентирующая механизм экономического обоснования мелиоративных проектов, была создана еще в 60-х годах прошлого века. Известными советскими учеными, которые занимались проблемами обоснования эффективности и целесообразности капитальных вложений, в том числе в мелиоративные мероприятия, были Т. К. Абышев, Е. А. Акрамов, А. Л. Вайнштейн, В. С. Дмитриев, В. И. Жминько, Л. В. Канторович, В. Б. Карев, И. П. Кружилин, Г. М. Лич, М. Н. Лойтер, А. Л. Лурье, В. В. Новожилов, Г. Ф. Раскин, Н. М. Сагатов, Т. С. Хачатуров [13, 18, 27, 39, 44, 63 и др.].

Дискуссия по вопросам эффективности капитальных вложений в народное хозяйство, экономического содержания категории эффективности, критериев оценки эффективности капитальных вложений в отдельных отраслях народного хозяйства, системы показателей эффективности и т. д. началась в 30-х годах прошлого века. В это время были определены принципиальные основы советской теории эффективности капитальных вложений, сформировалась научная школа в отрасли теории эффективности, которую возглавлял В. В. Новожилов. Основными направлениями исследований были проблемы измерения затрат и результатов, процента на капитал, нормы доходности и т. п.

В 40–60-е годы учеными рассматривались отдельные вопросы методики определения сравнительной эффективности капитальных вложений, была определена необходимость оценивать эффективность вложений с позиции интересов народного хозяйства в целом. В качестве основных показателей эффективности в это время выступали себестоимость и капиталоемкость продукции, коэффициент эффективности капитальных вложений. В 40-х годах появились работы А. Л. Лурье, посвященные природе и технике начисления процентов на капитальные вложения при социализме, определению норматива эффективности. В 60-х годах были опубликованы отдельные исследования вопросов измерения экономической эффективности капитальных вложений в сельскохозяйственное производство, ирригацию и мелиорацию земель.

С 1965 г. уровень научных исследований в области экономической эффективности вложений в сельское хозяйство и мелиорацию значительно вырос, значительный вклад в разработку этого вопроса внесли научные исследования, конференции, издание Института экономики АН СССР, а также известные исследователи в данной отрасли А. Л. Лурье, В. В. Новожилов, А. И. Ноткин, Т. С. Хачатуров, А. Л. Вайнштейн, Л. В. Канторович и др. В этот же период был выпущен ряд методик и инструкций по определению эффективности капитальных вложений в различных отраслях народного хозяйства.

Под руководством академика Т. С. Хачатурова была разработана Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений (1969) [11], которая определяла единые общие принципиальные подходы и порядок проведения расчетов эффективности капитальных вложений. Она была основой для разработки соответствующих отраслевых методик.

Основными нормативными документами, которые отражали существующие методологические подходы к обоснованию экономической целесообразности и эффективности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях, являются «Инструкция (методика) по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнения

пастбищ» (1972), «Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» (1978, 1981); «Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве» (1979); «Методические рекомендации по определению экономической эффективности капитальных вложений в сельское хозяйство» (1986), «Временная методика определения экономической эффективности капитальных вложений в строительство гидромелиоративных систем и освоение мелиорируемых земель» (1988); «Рекомендации по определению экономической эффективности капитальных вложений в мелиорацию земель» (1990) [3, 5, 6, 7].

Инструкции были предназначены для экономического обоснования выбора лучших вариантов создания и внедрения новой техники, отражения показателей экономической эффективности в нормах и нормативах, определения фактической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений и т. д.

Анализ практики технико-экономического обоснования мелиоративных проектов, разрабатываемых проектными организациями до 90-х годов, свидетельствует о том, что вопросу экономической целесообразности капитальных вложений в строительство и реконструкцию мелиоративных объектов уделялось недостаточное внимание.

Прежде всего обращает на себя внимание широкое использование натуральных показателей для технико-экономического обоснования (ТЭО) проектов, в частности:

- урожайность основных видов выращиваемых сельскохозяйственных культур;
- общая площадь осушения или орошения;
- количество хозяйств в рамках системы;
- водоснабжение;
- коэффициент земельного использования;
- сельскохозяйственное использование мелиорированных земель;
- оросительные нормы, расход воды;
- коэффициент полезного действия системы;
- производительность насосных станций;
- общая численность работающих;
- производительность труда;
- производительность земель.

Основными экономическими показателями, которые рассчитывались в пояснительных записках, были:

- валовая продукция земледелия и животноводства на мелиорированных землях;
- себестоимость основных видов продукции;
- совокупный доход;
- эксплуатационные расходы;
- дополнительный доход землепользователя;
- дополнительный налог на добавленную стоимость;
- общая сумма капитальных вложений;
- срок окупаемости капитальных вложений;
- стоимость 1 га орошения или осушения;
- коэффициент народнохозяйственной эффективности капиталовложений;
- суммарная мощность;
- расходы на освоение территории;
- производство дополнительной товарной продукции;
- прирост чистого дохода;
- годовые затраты труда;
- коэффициент экономической эффективности капитальных вложений.

Такие показатели, безусловно, важны и необходимы для ТЭО, поскольку характеризуют разные стороны разрабатываемого проекта. Однако они не систематизированы и не отражают ни общую, ни коммерческую эффективность вложения капитала в разрабатываемый проект.

Оценка эколого-экономической эффективности любого проекта – это прежде всего оценка эффективности инвестиций в данный проект [47]. Распространенный за рубежом термин «инвестиции», который приобретает все большее применение в практике отечественных экономических расчетов, означает долгосрочное вложение капитала в некоторую отрасль хозяйства с целью получения социального, экономического и экологического эффекта [12, 30]. Но часто в расчетах он ошибочно рассматривается как синоним понятия «капитальные вложения», хотя он значительно шире.

В общем случае капитальные вложения определяют как затраты денежных средств на создание, техническое переоснащение и расширение основных производственных фондов. Материализуясь в объектах, они превращаются в основные фонды (за исключением 3–5 % их суммы) [55].

Капитальные вложения в мелиорацию земель, материально-технические, трудовые и финансовые ресурсы в денежном выражении направлены на создание новых, воспроизведение или реконструкцию существующих основных мелиоративных фондов.

Что касается инвестиций, то в соответствии с определением в Законе Украины «Об инвестиционной деятельности» [1], это все виды имущественных и интеллектуальных ценностей, вкладываемые в объекты предпринимательской и других видов деятельности, в результате чего создается прибыль или достигается социальный эффект. В широком толковании под инвестициями следует понимать долгосрочные вложения экономических ресурсов в конкретное дело с целью последующего создания и получения чистых выгод в будущем, их можно рассматривать как временный отказ экономического субъекта от потребления ресурсов и использования этих ресурсов для роста в будущем своего капитала [12, 24, 62].

Итак, инвестиции – более широкое понятие, чем капитальные вложения. И наиболее распространенной ошибкой расчетного характера является некорректное определение состава инвестиционных затрат по проекту, в которые, как правило, не включают прирост потребности в оборотном капитале, затраты на организационные мероприятия, подготовку персонала, проведение научно-исследовательской деятельности, финансовые расходы и т. д. [26].

По принятой в СССР методологии в состав капитальных вложений при проведении расчетов по обоснованию их экономической эффективности не включались затраты на геолого-разведывательные работы, не связанные со строительством конкретных объектов, на разработку проектов строительства социальной инфраструктуры, посадку лесов, формирование основного стада животноводства и т. п.

При определении общей эффективности в состав затрат входят все одноразовые затраты, связанные со строительством, реконструкцией и освоением мелиоративных систем, сельскохозяйственным освоением земель, включая расходы на развитие отраслей и сфер, обслуживающих строительство, на охрану окружающей среды. При определении внутривладельческой эффективности учитываются только затраты за счет собственных средств.

В состав капиталовложений в мелиоративный проект относят [3, 5, 7, 8, 9, 11]:

- капиталовложения на создание основных мелиоративных фондов;
- капиталовложения на создание основных сельскохозяйственных фондов, сельскохозяйственное освоение земель (для новых) или прирост основных сельскохозяйственных фондов;
- расходы на проектно-изыскательские, научно-исследовательские и иные подготовительные работы;
- расходы на приобретение инструмента и инвентаря, которые включены в смету и зачислены как основные фонды;
- затраты на строительные-монтажные работы или реконструкцию;
- капиталовложения неинвентарного характера (капитальная планировка, капитальная промывка засоленных почв и т. д.);
- расходы на охрану окружающей среды;
- расходы на создание дополнительной производственной и социальной инфраструктуры (при необходимости).

Согласно существующим методам главная цель капитальных вложений в данную отрасль – увеличение объема производства сельскохозяйственной продукции и соответственно рост массы прибыли сельскохозяйственного производителя, поэтому эффективность вложений в строительство или реконструкцию мелиоративных объектов определяется по результатам сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях. Эффект достигается в результате регулирования водного режима, применения прогрессивных технологий, удобрений, новых сортов сельскохозяйственных культур и т. п.

Отдельно рассчитывается народнохозяйственная и внутривладельческая эффективность капитальных вложений, причем обязательным условием является народнохозяйственный подход, поскольку социалистический способ производства требовал, чтобы оптимальное решение было оптимальным прежде всего с точки зрения народного хозяйства в целом [39]. Народнохозяйственная эффективность определяется исходя из созданной в сельском хозяйстве части национального дохода, а внутривладельческая эффективность – только по результатам хозяйственной деятельности фермерских хозяйств на этих землях [5, 8].

Отличительной особенностью отечественной методологии обоснования целесообразности мелиоративных проектов является отделение общей (абсолютной) и сравнительной экономической эффективности капитальных вложений.

Общая (абсолютная) эффективность позволяет сопоставить доходы и расходы по проекту и тем самым определить общую целесообразность его осуществления. Расчет данного вида эффективности проводится при разработке планов проектов, в проектных расчетах, а также для оценки уже существующих проектов. Такая эффективность определяется с помощью коэффициента абсолютной экономической эффективности [6, 10]. Рассчитанная величина коэффициента абсолютной экономической эффективности сопоставима с отраслевыми нормативами и должна быть не ниже их.

Общая эффективность капиталовложений в мелиорацию земель определялась по системе стоимостных и натуральных показателей, в частности [19]:

- коэффициент общей (абсолютной) эффективности капитальных вложений;
- прирост валовой продукции в результате капитальных вложений по основным видам сельскохозяйственной продукции в соответствии со специализацией хозяйств в натуральном и денежном выражении;
- повышение производительности труда рассчитывалось увеличением выпуска валовой продукции в стоимостном выражении на 1 человеко-день;
- снижение затрат на выпуск продукции;
- повышение рентабельности сельскохозяйственного производства.

Перечисленная система показателей характеризовала общую эффективность на определенный фиксированный момент, а именно – год полного освоения мелиоративной системы, когда были достигнуты все проектные показатели по урожайности и себестоимости.

Кроме того, в Типовой методике, а также в отраслевых методиках подчеркивалось, что характеристикой абсолютной эффективности капитальных вложений является показатель рентабельности.

Существуют различные подходы к определению показателя рентабельности. Вообще рентабельность – это доходность (прибыльность) производственно-коммерческой деятельности хозяйства. Показатели рентабельности – это относительные величины, которые рассчитываются путем соотношения результата с продукцией, затратами или ресурсами производства и характеризуют его эффективность. В отечественной экономической практике рентабельность определяется как отношение прибыли или к затратам, или к стоимости активов, или к стоимости продукции [60].

На сегодняшний день в Украине рассчитывают следующие показатели рентабельности:

1. Рентабельность производства (общая рентабельность), которая определяется как отношение балансовой прибыли к производственным фондам. Данный показатель характеризует прибыльность относительно ко всем ресурсам, участвующим в производстве. Ранее в состав производственных фондов включалась сумма основных и оборотных фондов. То есть общая рентабельность определялась как отношение балансовой прибыли к среднегодовым остаткам основных производственных и нормируемых оборотных фондов. Теперь в качестве производственных фондов выступает первый раздел пассива баланса, то есть капитал предприятия в денежном выражении.

Если рентабельность продукции рассчитывается по прибыли от реализации, то рентабельность производства – по балансовой прибыли, которая включает доходы от всех видов производств, находящихся на балансе хозяйства, и от всех видов его деятельности. Общая балансовая прибыль сельскохозяйственных предприятий может включать:

- прибыль от реализации основной продукции;
- прибыль от реализации продукции подсобных, побочных, перерабатывающих и других производств и отраслей;

- прибыль от реализации прочей продукции и услуг;
- внереализационные доходы и расходы.

В свою очередь, доходы от внереализационных операций могут включать:

- сдачу имущества в аренду;
- ликвидацию лишних основных средств, материалов, инструментов;
- выявление в текущем году прибыли или убытков прошлых лет;
- долевое участие в других предприятиях;
- доходы от предоставления предприятием кредита;
- средства дебиторской задолженности;
- прибыль от деятельности межхозяйственных предприятий;
- суммы, выплаченные страховыми организациями;
- пеня, штрафы, неустойки, уплаченные предприятию.

К убыткам от внереализационных операций могут быть отнесены:

- убытки от потери товарно-материальных ценностей;
- уценка запасов семян и кормов, переходящих на следующий год, остатков товарно-материальных ценностей;

- затраты по производству, если оно не дает продукции;
- списание дебиторской задолженности, по которым истек срок выплаты;
- убытки от ликвидации не вполне амортизированных основных фондов;
- пени, штрафы, неустойки, уплаченные сельскохозяйственным предприятием;
- затраты на оплату работникам вынужденного простоя;
- убытки от аннулированного заказа;
- убытки от стихийного бедствия.

Большинство ученых, исследующих вопросы определения рентабельности производства, признают необходимость дальнейшего совершенствования методов определения данного показателя. Следует подчеркнуть, что рентабельность производства должна характеризовать отдачу всех ресурсов, участвующих в производстве, а фактически этот показатель рассчитывается только в отношении основных и оборотных средств производства.

Хотя в производстве используются трудовые ресурсы (фонд оплаты труда) и обязательно основное средство производства в сельском хозяйстве – земельные ресурсы, есть необходимость в учете всех привлеченных ресурсов при расчете рентабельности производственной деятельности предприятия.

2. Рентабельность текущих расходов определяется как отношение прибыли (чистой, балансовой или прибыли от реализации) к полной себестоимости продукции. Такие показатели рассчитываются относительно конкретного товара или всей продукции и характеризуют степень выгодности производства продукции по отношению к текущим расходам. При определении текущих затрат на производство сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях следует помнить, что эти расходы состоят из двух компонентов: текущих сельскохозяйственных затрат и затрат на эксплуатацию мелиоративной сети.

3. Рентабельность продукции рассчитывается как отношение прибыли от реализации к объему реализованной продукции (выручки от реализации за вычетом НДС). Этот показатель характеризует удельный вес прибыли от реализации в общем объеме реализованной продукции. Расчет показателей рентабельности отдельных видов продукции имеет важное аналитическое значение. Эти показатели позволяют анализировать динамику рентабельности или убыточности производимой сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях по видам, оценивать структуру посевных площадей выращиваемых видов культур с точки зрения выгодности для хозяйства. Систематическое наблюдение за динамикой данного показателя – обязательное условие выявления и использования резервов производства.

4. Рентабельность продаж, которая рассчитывается как отношение чистой прибыли к выручке от реализации. Данный показатель показывает удельный вес чистой прибыли на одну гривну продажи.

5. Рентабельность собственных активов, которая рассчитывается как отношение чистой или балансовой прибыли к стоимости собственных активов.

Каждый из перечисленных показателей рентабельности характеризует какую-то определенную сторону деятельности хозяйства, все они взаимодополняемы и могут использоваться как отдельно, так и в комплексе, в зависимости от целей расчетов. Кроме того, способы расчета различных показателей рентабельности также зависят прежде всего от целей расчета, которые, в свою очередь, зависят от цели производства, формы собственности, способа хозяйствования и источников финансирования мелиоративных проектов.

В Законе Украины «О мелиорации земель», который был впервые принят в 2000 г., обозначено, что право собственности на инженерную инфраструктуру мелиоративных систем может принадлежать государству, территориальным общинам, юридическим лицам и гражданам. Итак, в зависимости от формы собственности на землю и мелиоративные системы и целей хозяйствования следует выбирать соответствующие методы расчета показателей рентабельности.

Кроме того, Инструкция [5] предусматривала, что для оценки эффективности создания и внедрения новой техники и рацпредложений целесообразно применять систему следующих показателей:

- снижение приведенных затрат;
- изменение себестоимости продукции или работ;
- изменение капиталовложений;
- снижение трудоемкости, материалоемкости и энергоемкости продукции;
- получение дополнительной сопутствующей продукции.

Среди дополнительных показателей, которые отражали степень новизны и целесообразности внедрения новой техники и технологии, рассчитывали: коэффициент экономии материалов, показатели использования водных и земельных ресурсов, коэффициент полезного действия сети, коэффи-

циент земельного использования, изменение выхода продукции на 1 куб. м воды, показатели социального эффекта и т. п. Причем за расчетный год в водохозяйственном строительстве принимался второй календарный год производства или использования новой техники, в эксплуатации мелиоративных систем – третий год использования, при определении эффекта от изобретений и рацпредложений – первый год.

Важным показателем, характеризующим общую эффективность мелиоративного проекта, является срок окупаемости капитальных вложений. Расчет данного показателя производится на основе обратного соотношения капитальных вложений и чистого дохода [3, 5, 8].

Известные исследователи проблем оценки экономической эффективности капитальных вложений в мелиорацию земель отмечали, что общая (абсолютная) эффективность проекта в зависимости от целей анализа может быть выражена и другими показателями, кроме упомянутых: чистой продукцией на 1 руб. фондов; прибылью, снижением себестоимости или натуральной продукцией [3, 5, 7, 13, 27 и др.].

При сопоставлении различных вариантов технических решений или проектов, выборе первоочередных мелиоративных объектов, внедрении новых видов техники, реконструкции действующих мелиоративных систем и т. п. определяется сравнительная экономическая эффективность, ведь выбор привлекательного варианта проекта среди нескольких альтернативных – первый важный и необходимый этап экономического обоснования целесообразности инвестиций. Правомерно сравнение только однотипных по специализации объектов, которые решают одинаковые задачи, но с разными затратами и эффектом. При этом особенностями определения сравнительной эффективности мелиоративных проектов является то, что не всегда целесообразно сравнивать только различные варианты мелиоративных мероприятий, нужно сопоставлять эффект таких мероприятий с эффектом от других мероприятий, которые позволяют получить такой же результат.

Согласно общепринятым подходам в качестве критерия сравнительной экономической эффективности мелиоративных мероприятий в отечественной практике традиционно выступает показатель приведенных затрат. Он представляет собой сумму текущих расходов и капитальных вложений, приведенных к одной размерности в соответствии с нормативом сравнительной экономической эффективности [3, 5, 8, 60].

Поскольку сравниваемые варианты могут иметь неодинаковый объем продукции, то для приведения вариантов к сопоставимому виду сравнительную эффективность можно определять на единицу основной сельскохозяйственной продукции или использовать коэффициент приведения затрат к одинаковому объему производства продукции. Все сравниваемые варианты капитальных вложений должны быть приведены к сопоставимому виду по всем имеющимся признакам, кроме того, эффективность которого определяется.

В процессе проектирования для выбора наиболее оптимального варианта хозяйственного решения определяется экономическая эффективность сравниваемых объемов капитальных вложений по показателю минимума приведенных затрат. Далее производится расчет общей экономической эффективности выбранного варианта.

Если капитальные вложения реализуются в различные сроки, а текущие затраты изменяются во времени, то сравнение вариантов следует осуществлять приведением затрат более поздних лет к текущему моменту из-за использования коэффициента приведения [5, 8], который определяется через норматив приведения разновременных затрат (принимался равным 0,08).

Следует отметить, что критерий минимума общих затрат лучше отражает специфику централизованной социалистической экономики, в которой существовал только один владелец – государство, поэтому такие рыночные понятия, как «прибыль», «доход», в условиях централизованной экономики реально не учитывались. Единственное, что можно было более-менее реально определить, это объем затрат на производство. Поэтому и основными критериями выступали показатели расходов: для долгосрочных оценок – приведенные затраты, для краткосрочных – себестоимость продукции [59].

Показатель приведенных затрат имеет как свои преимущества, так и определенные существенные недостатки [60].

К его достоинствам можно отнести:

- показатель достаточно прост в расчете;
- приемлем для использования при ограниченных финансовых ресурсах, поскольку концентрирует внимание на минимизации затрат;
- целесообразен при выборе альтернативных вариантов проектов, не имеющих явно выраженных финансовых результатов;
- эффективен для определения предварительной сравнительной эффективности проектных решений, реализуемых на многовариантной основе.

Недостатками данного показателя можно считать то, что он:

- игнорирует основную цель производства в рыночных условиях – максимизацию дохода;
- по мнению ряда современных экономистов, критерий приведенных затрат в несколько видоизмененном виде может применяться в условиях рыночных отношений только для проектов со стабильной величиной результатов и коротким периодом инвестирования [95];
- не учитывает временной ценности денежных вложений;
- не учитывает срока жизненного цикла проекта;
- не может быть использован для обоснования инвестиций, направленных на улучшение качества продукции, поскольку, как правило, это приводит к росту затрат на ее производство.

Кроме того, применялось попарное сравнение вариантов проектных решений с помощью коэффициентов сравнительной экономической эффективности и сроков окупаемости дополнительных капиталовложений. При этом устанавливались нормативные сроки окупаемости (8 лет) и коэффициенты эффективности (0,12).

Итак, отечественные подходы, методы и показатели экономического обоснования капитальных вложений в мелиоративные мероприятия имеют ряд значительных и существенных недостатков, которые не позволяют эффективно использовать их в современных условиях рыночных преобразований при расчетах эффективности инвестиций в мелиоративные проекты.

Проведенный анализ отечественных теоретико-методологических и методических подходов к эколого-экономической оценке мелиоративных проектов и практических методов и средств их технико-экономического обоснования позволил обобщить их основные проблемы и недостатки, а также предложить возможные пути их устранения (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Анализ и пути совершенствования отечественных теоретико-методических подходов к оценке мелиоративных проектов

Недостатки	Пути совершенствования
Несоблюдение на практике принципа многовариантности из-за отсутствия эффективного механизма принятия оптимальных проектных решений	Разработка комплексной модели эколого-экономической оценки мелиоративного проекта с целью выбора оптимального решения на многовариантной основе
Чисто формальный характер и упрощенный подход к обоснованию эффективности капитальных вложений в мелиорацию земель	Необходимость применения современных динамических методов анализа эффективности инвестиций в мелиоративные проекты
Необоснованность критериев и показателей эколого-экономической эффективности мелиоративного проекта, несоответствие их современным экономическим условиям, ориентация на затратную концепцию использования ресурсов	Обоснование адекватных критериев и показателей эколого-экономической эффективности мелиоративного проекта по фазам и этапам проектного цикла
Отсутствие учета влияния фактора времени, рассмотрения мелиоративного проекта в динамике, изучение его эффективности комплексно, в течение всего жизненного цикла	Применение динамических методов инвестиционного анализа, модифицированных с учетом отраслевых особенностей
Отсутствие учета основных видов риска мелиоративного проекта	Разработка классификации основных видов риска аграрного производства на мелиорированных землях и учета влияния основных из них при эколого-экономической оценке проекта
Отсутствие методики учета влияния экологических факторов при выборе оптимального проектного решения	Разработка комплексного подхода к эколого-экономической оценке вариантов проектных решений
Использование в качестве учетной ставки экономически необоснованных нормативов	Определение ставки дисконта на основе реальной нормы доходности в стране, уровня инфляции и риска мелиоративного проекта
Отсутствие учета стоимости природных ресурсов из-за невозможности их реальной экономической оценки	Необходимость учета использованных природных ресурсов в составе расходов
Неопределенность относительно применяемых цен при экономических расчетах	Оценка затрат и доходов по разным ценам в зависимости от путей и сроков реализации
Использование «двухотраслевого подхода», что завышает реальные экономические результаты	Применение «одноотраслевого подхода», то есть учет только результатов растениеводства на мелиорированных землях
Отсутствие учета особенностей налогообложения в отрасли	Необходимость учета основных видов налогов

Несоблюдение принципа многовариантности. Многовариантность, то есть поиск наилучшего проектного решения по выбранной совокупности возможных альтернативных вариантов, – один из определяющих принципов выбора экологически и экономически оптимального варианта мелиоративного проекта. К сожалению, как в прошлые годы, так и сейчас на практике процедура разработки альтернативных вариантов мелиоративного проекта и выбора лучшего из них отсутствует.

В ДБН 2.4-1-99 «Мелиоративные системы и сооружения» предусмотрено, что технические решения по схемам и конструкциям основных мелиоративных сооружений следует принимать на основе сравнения основных технико-экономических показателей различных вариантов между собой.

Однако на практике на начальном этапе после проведения необходимых исследований и изысканий проектной организацией разрабатывается один технический вариант проекта и в дальнейшем он просто уточняется, дополняется, обосновываются его целесообразность и эффективность. Хотя окончательный выбор экономически целесообразных и экологически приемлемых способов водорегулирования и связанных с ним типа, конструкции и схемы работы мелиоративной системы могут быть выполнены только на основании сравнения возможных альтернативных вариантов на объекте.

Данный подход можно объяснить отсутствием обоснованных и эффективных современных методологических и методических подходов к разработке и выбору оптимального варианта мелиоративного проекта. В современных условиях такой способ работы является недопустимым, поскольку рыночная экономика предполагает создание конкурентной среды. Именно поэтому особое значение сегодня приобретает процедура тендеров для поиска наиболее надежного исполнителя проектных работ [50], который это способен сделать в соответствии с современными требованиями. Необходимо объявлять конкурсы по проектам, а с победителем заключать договор на разработку мелиоративного проекта. Только при таких условиях все организации водохозяйственно-мелиоративного комплекса станут работать по-новому.

Чисто формальный характер и упрощенный подход к обоснованию эффективности капитальных вложений в мелиорацию земель. В условиях планово-директивной экономики вопросам экономической и экологической оценки капитальных вложений в мелиоративные проекты уделялось недостаточное внимание. Поскольку денежные средства на осуществление капиталовложений в водохозяйственно-мелиоративные мероприятия выделялись централизованно на безвозмездной основе, то обоснование эффективности этих вложений не имело решающего значения и часто носило формальный характер. Кроме того, невозможность оценки реального эффекта на мелиорированных землях в переменных природно-агрометеорологических условиях обуславливало создание упрощенных подходов к оценке мелиоративных проектов через нормирование (проектная урожайность, текущие расходы, год расчетной обеспеченности и т. п.), использование для сравнения и определения целесообразности вложений в проект натуральных показателей (производительность земель, использование воды) и др. Все это не позволяло рассматривать и осуществлять поиск и обоснование оптимальных проектных решений на многовариантной основе.

Необоснованность критериев и показателей эколого-экономической эффективности. До сегодняшнего дня остаются дискуссионными вопросы относительно критериев и показателей, характеризующих экономическую и экологическую эффективность мелиоративных проектов, методов их расчета, состав результатов и затрат по проекту, используемых в расчетных формулах. Используемые на практике критерии и показатели не дифференцированы по фазам и этапам проектного цикла, а также ориентированы на расходную концепцию ресурсоиспользования, что приводит к ряду существенных ошибок.

Учет влияния фактора времени. Это одна из основных проблем определения эколого-экономической эффективности долгосрочных инвестиционных проектов, в частности водохозяйственных. Существенным недостатком имеющегося мелиоративного проектирования является отсутствие рассмотрения проекта в динамике, изучение его эффективности комплексно, в течение всего жизненного цикла, прогнозирования эколого-экономических эффектов на перспективу.

Хотя в нормативных документах по экономической эффективности нововведений предлагалось учитывать приведение разновременных капитальных затрат и результатов к одному моменту времени с помощью коэффициента приведения, однако эти расчеты не влияли на величину сметных и плановых показателей, где закладывались статические величины.

Итак, главный недостаток статических методов оценки эффективности инвестиций заключается в игнорировании факта неравноценности одинаковых сумм или поступлений платежей, относящихся к разным временным периодам. Общеизвестно, что деньги со временем теряют свою стоимость, поэтому при оценке эффективности инвестиционных проектов стоит задача приведения будущих денежных поступлений к начальному этапу, и наоборот. В связи с этим возникает проблема оп-

ределения учетной ставки. Существуют определенные разработки и теории зарубежных и некоторых отечественных авторов по определению ставки дисконта, которые могут быть приняты за основу при эколого-экономической оценке мелиоративных проектов и будут рассмотрены нами в следующем разделе.

Учет экологических факторов. На современном этапе глобальной экологизации общества проблема эффективного и рационального природопользования приобретает чрезвычайную актуальность, особенно для отраслей, активно использующих природные ресурсы, к которым относится и мелиорация земель. Именно поэтому в современных условиях возникает необходимость учета экологических факторов при осуществлении экономической оценки проекта. Однако до сегодняшнего дня не существует разработанного эффективного механизма стоимостной оценки экологического ущерба, вызванного мелиоративными мероприятиями, затрат на ликвидацию негативных явлений и восстановление качества природных ресурсов. Поэтому при оценке альтернативных вариантов мелиоративного проекта пока оценка экологических последствий осуществляется только в натуральном или относительном виде.

Отображение риска проекта. Данная проблема имеет чрезвычайно важное значение при его обосновании в современных условиях, поскольку инвестор всегда старается вложить средства в проект, риск которого наименьший. В практике разработки мелиоративных проектов этот вопрос остается одним из самых сложных. В современной экономической литературе предложено достаточно методов учета факторов инвестиционного риска и неопределенности, которые можно взять за основу и при оценке рисков мелиоративных проектов [23, 37, 38, 43 и др.].

Поскольку основной особенностью мелиоративных объектов как сложных эколого-экономических систем является функционирование их в переменчивых условиях окружающей среды, необходим механизм определения уровня воздействия метеорологических факторов и связанного с ними риска на основные экономические показатели.

Использование нормативных показателей. Важным элементом любых расчетов являются научно обоснованные нормы и нормативы, на которых эти расчеты должны базироваться. В общем случае нормативы должны соответствовать реальным возможностям конкретного производства, учитывать имеющиеся материальные, трудовые и природные ресурсы, быть ориентированными на максимальное использование резервов увеличения производительности труда. В условиях плановой экономики все нормативы устанавливались централизованно и рассматривались как управляющий параметр, который позволяет регулировать распределение фонда капиталовложений таким образом, чтобы из различных технических вариантов решения выбрать наиболее эффективный [81]. Например, величина норматива в целом по народному хозяйству была установлена на уровне 0,14, в том числе по сельскому хозяйству – 0,07.

В рыночных условиях хозяйствования, когда часть проектов или проекта финансируется за счет частного капитала, существующие нормативы должны быть обязательными только для государственных объектов. Для частных инвесторов и кредиторов данные нормативы могут быть только приблизительными, поскольку они ориентируются на индивидуальные уровни эффективности, учитывающие специфику объекта, их собственные интересы и показывают минимально допустимый уровень прибыли, который согласен получить инвестор от реализации проекта после уплаты налогов и обязанности обязательных платежей.

Экономическая оценка природных ресурсов. Вопрос объективной оценки эффективности инвестиций в мелиорацию тесно связан со стоимостной оценкой земельных и водных ресурсов. Ведь специфика сельскохозяйственного производства заключается в том, что производственный процесс неразрывно связан с условиями и особенностями окружающей среды, с использованием природных и биологических ресурсов в качестве средств производства и предметов труда [57]. Главным и незаменимым средством производства в сельском хозяйстве является земля, особенность которой такова, что при правильном, рациональном использовании она улучшается. Кроме того, своеобразным средством производства природного происхождения при гидротехнических видах мелиорации являются водные ресурсы. Экономическая оценка земли и воды определяет их ценность как средства производства.

В существующую методику не включен вопрос об оценке природных ресурсов и ее учете в определении экономической эффективности проекта. До сих пор рентабельность производства определяется соотношением прибыли и среднегодовой стоимости основных и оборотных фондов, то есть соотношением эффекта и материально-технических затрат, обусловивших этот эффект.

Некоторые специалисты предлагают для учета влияния природных ресурсов на эффективность сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях сопоставлять общие результаты

производства с капиталовложениями, в которых учтена экономическая оценка земли и воды [13, 58, 61], поскольку показатели экономической эффективности производства на мелиорированных землях должны отражать использование не только материальных и трудовых, но и природных ресурсов. Это позволит получить более объективные показатели эффективности произведенных затрат. По мнению М. А. Хвесика [64], применение оценки природных ресурсов обусловлено необходимостью учета влияния природного фактора на повышение эффективности общественного производства.

Именно поэтому проблема экономической оценки природных ресурсов сегодня приобретает особенную актуальность. На современном этапе специалисты предлагают различные подходы к такой оценке и показатели определения стоимости природных ресурсов, однако единой обобщенной методологической базы еще не разработано. Проблеме стоимостной оценки природных ресурсов посвящены работы отечественных ученых: В. М. Трегобчука, С. И. Дорогунцова, М. А. Хвесика, Н. Е. Ковшун [28, 33, 57, 65] и др.

В общем случае суть экономической оценки земли состоит в определении ее экономического значения как главного фактора производства с точки зрения продуктивности почв, эффективности обработки различных по качеству земель в разных зонах и разных климатических условиях [65].

Сейчас признано целесообразным определять экономическую оценку земли в денежной форме, характеризовать соответствующий уровень доходности различных земельных участков. При этом предлагается три метода такой оценки: установление цены земельного участка в стократном размере земельного налога на нее; определения стоимости земли за ее энергетическим потенциалом; рентный подход, формируется в зависимости от качества, местоположения и экономической оценки земель. Денежную оценку земель в настоящее время осуществляют органы Государственного комитета Украины по земельным ресурсам. Предусмотрена ежегодная индексация денежной оценки земель, ее методика утверждена постановлением Кабинета министров Украины от 11.10.2002, № 1531.

Что касается экономической оценки водных ресурсов, то этот вопрос сегодня практически не разработан. Предлагается затратный подход к оценке: единовременные вложения и текущие расходы на водоснабжение и очистку от загрязнения. Не разрешен и вопрос платы за воду как за ресурс, который является сегодня главным сдерживающим фактором развития водохозяйственного комплекса страны.

Выбор цен для экономических расчетов. В условиях плановой экономики цены на сельскохозяйственную продукцию устанавливались централизованно. В условиях рыночной экономики цены должны устанавливаться по законам спроса и предложения.

В условиях государственного ценообразования фактический размер продукции по отдельным ее видам в стоимостном выражении определялся по зональным государственным закупочным ценам. При расчетах по сельскому хозяйству в целом и по экономическим районам оценка производилась также по действующим сравнительным ценам.

Для обеспечения сравнимости продукцию оценивают в сопоставимых ценах. Сравнительными ценами сельскохозяйственной продукции были цены 1926–1928, 1951, 1956, 1958, 1965, 1973 гг. С 1986 г. были приняты средневзвешенные цены реализации 1983 г. [29].

В современных условиях либерализации экономики возникает проблема, какие именно цены использовать в проекте для оценки затрат и результатов сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях. Поскольку в странах с развитой рыночной экономикой основным способом реализации сельскохозяйственной продукции для фермеров являются оптовые поставки перерабатывающим предприятиям, торговым комплексам и оптовым посредникам, а для крупных хозяйств – товарные биржи, то именно эти элементы инфраструктуры генерируют рыночные цены. В нашей стране до сих пор не существует отработанного механизма рыночного ценообразования, поэтому решить, какие цены использовать при экономических расчетах, пока очень трудно.

В отечественной хозяйственной практике действуют оптовые, закупочные, розничные, договорные цены, а также тарифы на услуги. В зависимости от путей реализации сельскохозяйственную продукцию следует оценивать по разным ценам. Цены оптовых рынков являются ориентиром для всех других каналов сбыта, в том числе для установления контрактных, кооперативных цен и цен государственной гарантийной поддержки. Оптовая торговля в ценообразовании является определяющей. Итак, для эффективного реформирования аграрного рынка Украины необходимо развивать инфраструктуру, которая генерирует рыночные цены. В проектных расчетах следует пользоваться теневыми ценами (если они известны) или рыночными.

Большинство специалистов предлагают использовать в проектных расчетах постоянные цены, которые представляют собой фиксированные цены, которые считаются неизменными в течение расчетного периода. Преимущества расчета в постоянных ценах:

- простота при расчете и анализе реальной динамики ключевых параметров проекта (себестоимость продукции, объем продаж и т. д.);
- отсутствие необходимости прогноза цен.

Выделяют следующие виды постоянных цен: базисные цены – цены, сложившиеся в народном хозяйстве на определенный момент времени; цены, фактически действующие в определенный момент времени, на определенную дату; цены, фактически действующие на момент выполнения расчетов – текущие; цены, которые фактически действовали или будут действовать в базисный момент времени.

Если базовый момент совпадает с моментом выполнения расчетов или предшествует ему, то соответствующие цены рассчитываются на основе фактической инфляции, иначе они определяются путем прогнозирования фактически действующих цен на момент расчетов.

Использование двуотраслевого подхода. Данный вопрос всегда был дискуссионным. Какой подход следует использовать при решении вопроса об эффективности мелиоративных мероприятий: одноотраслевых (растениеводство) или двуотраслевых (растениеводство и животноводство). В существующих отраслевых инструкциях и методиках предлагается рассчитывать эффективность от двух отраслей: растениеводства и животноводства. Это значительно завышает фактические данные и предусматривает двойной счет кормовых культур. Кроме того, нельзя учитывать всю продукцию животноводства, поскольку на ее производство используют не только корма с мелиорированных земель [26, 57]. В методиках большинства европейских стран эффективность капитальных вложений в мелиорацию определяется только по результатам растениеводства, поэтому для упрощения расчетов и повышения их достоверности целесообразно учитывать только продукцию земледелия, поскольку принцип одноотраслевого подхода позволяет дать более объективную оценку эффективности мелиоративных мероприятий.

Определение долевого эффекта. Согласно существующим подходам эффективность капиталовложений на реконструкцию мелиоративных систем определяется путем сравнения соответствующих показателей до и после реконструкции объекта. Кроме того, такая эффективность рассчитывается, исходя из общего результата сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях.

Этот подход может быть использован, если до и после реконструкции системы другие факторы, влияющие на результаты, остаются без изменений [13, 26]. Однако это, как правило, невозможно, ведь результаты сельскохозяйственного производства зависят от ряда факторов и определение эффективности капиталовложений в мелиорацию по общему результату не отражает фактическую их эффективность, а в большинстве случаев завышает ее. Осуществление мелиоративных мероприятий предусматривает соответствующие изменения в организации сельскохозяйственного производства: рост уровня химизации и механизации, внедрения более перспективных агротехнических приемов и т. п. В связи с этим возникает проблема выявления долевого эффекта капитальных вложений в мелиорацию. Ведь определить, какая часть общего экономического эффекта обусловлена именно мелиоративными мероприятиями, чрезвычайно трудно.

Экономической наукой этот вопрос до сих пор не решен, поэтому на практике для выделения долевого эффекта мелиорации чаще всего используют четыре метода: метод пропорционального распределения совокупного эффекта между важнейшими факторами производства; сальдовый метод; расчетный метод и метод корреляционного анализа [13].

В. М. Трегобчук предлагает в таком случае определять эффект от мелиоративных мероприятий путем вычитания из общего эффекта производства на мелиорированных землях эффект на немелиорированных землях в аналогичных почвенно-климатических условиях в одном и том же хозяйстве, области, зоне и т. д., что является достаточно проблематичным.

Особенности налогообложения отрасли. Согласно существующей методике при расчете народнохозяйственной эффективности учитывается часть налога на добавленную стоимость, отнесенного к продукции с мелиорированных земель. Что касается внутрихозяйственной эффективности мелиоративных проектов, то в его расчете не отражены особенности налогообложения в отрасли сельского хозяйства, хотя частного инвестора интересует прежде всего вопрос о том, какая чистая прибыль может быть получена от вложения собственных средств в проект. Поэтому целесообразно отражение в экономических расчетах эффективности вложений в мелиоративные мероприятия особенностей налогообложения в данной отрасли.

Все перечисленные особенности, проблемы и недостатки обусловлены в первую очередь практическим отсутствием методологической и технологической базы выполнения оценки и прогнозов на долгосрочной основе, действенного и обоснованного механизма прогнозирования эффекта от осуществления мелиоративного проекта на протяжении его жизненного цикла.

На сегодняшний день уже создана технологическая база долгосрочного прогноза основных технико-экономических показателей различных конструкций мелиоративных систем в зависимости от климатических и метеорологических особенностей их функционирования [51–53]. Соответственно это даст возможность для перехода на современные и прогрессивные методы эколого-экономической оценки мелиоративных проектов, повысит их конкурентоспособность и эффективность.

10.3. Современные методологические подходы к обоснованию инвестиций в долгосрочные проекты сферы природопользования

Глобальные изменения в мире, ускорение научно-технического прогресса в странах с развитой рыночной экономикой начиная с 80-х годов выявили полную непригодность управления экономикой на основе административно-командных методов. После 1991 г. и распада СССР реформы в Украине приобрели радикальный характер, однако на довольно значительное время прекратились исследования в области эколого-экономического обоснования инвестиций в водохозяйственно-мелиоративное строительство из-за нехватки финансовых ресурсов, а также отсутствия необходимой методологической и методической базы.

В последние десятилетия начались интенсивные исследования, в том числе отечественных ученых, в сфере экономики природопользования и изучения эколого-экономических последствий хозяйственной деятельности. В частности, актуальными стали вопросы экономической оценки природных ресурсов (С. И. Дорогунцов, М. А. Хвесик [28, 65] и др.), синтеза экономики и экологии и возникновения науки «эконология» (Б. В. Буркинский, В. Н. Степанов, С. К. Харичков [16, 17]), инвестиционного менеджмента в природоохранной деятельности и экологического менеджмента и маркетинга (Б. В. Буркинский, Н. Г. Ковалева, А. Л. Розмарина, С. К. Харичков, Н. Н. Андреева, Т. П. Галушкина, В. Н. Степанов и др. [14, 17, 25, 30]).

Что касается конкретно области водного хозяйства и мелиорации земель, то исследования в данном направлении только начинаются. Прежде всего исследуются эколого-экономические проблемы мелиоративного земледелия (М. А. Хвесик, А. Г. Кулибабин, В. М. Трегобчук и др. [56, 57, 65]), вопросы реформирования экономических отношений в отрасли (М. А. Хвесик, Л. Ф. Кожушко, Р. М. Костюкевич, В. Я. Гуменюк [34, 65]), оценка эффективности мелиоративных мероприятий (Е. А. Зинь, Н. Е. Ковшун, А. С. Гордийчук, А. А. Стахив [26, 33, 64 и др.]).

Однако проблеме комплексной оценки эколого-экономической эффективности мелиоративных мероприятий на проектном уровне с учетом специфических особенностей их реализации на современном этапе все еще не уделяется должное внимание. Хотя именно обоснованность экономической целесообразности и экологической надежности таких мероприятий является необходимым условием и стимулом для их финансирования как за счет государственных, так и частных инвестиций в условиях ограниченности средств. Такое положение вызывает необходимость обратиться к зарубежной практике обоснования долгосрочных проектов вложения капитала.

Следует отметить, что за рубежом проблеме оценки экономической эффективности инвестиций в водное хозяйство и мелиорацию земель уделяют значительное внимание на всех стадиях проектирования, поскольку такая оценка в большинстве случаев является основой для принятия решения о реализации проекта [54].

Особенностью зарубежных подходов и методов обоснования инвестиционных проектов, которые широко внедряются в современную отечественную экономическую практику, является учет фактора изменения стоимости денег во времени, то есть расчеты проводятся не по статической, а по динамической модели.

Инвестиционное обоснование мелиоративных проектов с помощью динамических методов (или методов дисконтирования) осуществляется с использованием подходов, предложенных структурным подразделением ООН по проблемам промышленному развитию (ЮНИДО – UNIDO, United Nations Industrial Development Organization), и основываются на методике, разработанной Международным центром промышленных исследований при ЮНИДО. Данная методика, которая впервые была опубликована в 1978 г., является основой и образцом выполнения анализа любых долгосрочных инвестиционных проектов.

Однако даже в высокоразвитых индустриальных странах еще 30 лет назад отношение к методам оценки эффективности проектов, основанных на дисконтировании, не было однозначным. В 1964 г. в США только 16 % обследованных предприятий применяли при инвестиционном анализе динамические методы. К середине 80-х годов эта доля выросла до 86 %. В странах Центральной Европы (ФРГ, Австрия, Швейцария) в 1989 г. более 88 % опрошенных предприятий применяли для оценки эффек-

тивности инвестиций динамические методы расчетов. При этом следует учесть, что во всех случаях исследовались промышленные предприятия, которые часто реализуют инвестиции вследствие технической необходимости.

В мировой практике экономических расчетов различают два основных подхода к оценке экономической эффективности инвестиций в любые проекты, в том числе мелиоративные, в соответствии с которыми методы экономической оценки инвестиций предлагается разделить на две группы [20, 35 и др]:

- 1) простые (статические) методы;
- 2) методы дисконтирования (динамические).

Методы, входящие в первую группу, оперируют отдельными статическими значениями исходных показателей. Такие методы получили распространение в отечественной экономической практике. При их использовании не учитываются полная продолжительность жизненного цикла проекта, неравнозначность денежных потоков, возникающих в различные моменты времени, влияние факторов риска на конечный результат проекта. Однако в силу своей простоты и иллюстративности эти методы достаточно широко распространены, хотя и могут быть применены, главным образом, для ускоренной оценки проектов на предварительных стадиях их разработки [36].

Во вторую группу входят методы анализа инвестиционных проектов, оперирующих понятием «временных рядов», которые требуют специального математического аппарата и более тщательной подготовки исходной информации [36]. Особенностью динамических методов является учет фактора изменения ценности денег во времени, то есть при оценке эффективности инвестиционного проекта сравнение разновременных показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к стоимости в начальный период. Дисконтирование позволяет сравнить потоки затрат и результатов, которые распределены во времени и не могут быть сопоставлены на основе просто здравого смысла.

Процесс эффективной эколого-экономической оценки инвестиций в любой объект, в том числе мелиоративный, тесно связан с проблемой выбора критериев, с помощью которых осуществляется сравнение альтернативных вариантов мелиоративного проекта, поиск среди них оптимального, оценка эколого-экономической эффективности инвестиций в мелиоративные мероприятия и принятия решения о реализации проекта. Это чрезвычайно важный и достаточно сложный вопрос, который требует детального исследования и анализа. Ведь обоснование критериев оценки и показателей эффективности необходимо проводить на начальном этапе проектирования любого объекта, то есть в процессе установления цели его создания [64].

В общем случае критерий (от греческого *criterion* – средство для суждения) – признак, на основании которой формируется оценка качества экономического объекта, процесса или классификация чего-либо, мерило такой оценки. По мнению М. А. Хвесика, поскольку критерий выражает суть оценки, ее основную идею, то он не может выбираться случайно, такой выбор должен быть научно обоснован. Часто в более узком смысле критерий отождествляют с показателем, на базе которого осуществляется оценка и выбор варианта любого, в том числе проектного решения.

В практических расчетах нужно различать критерии эффективности и критерии оптимальности. Критерии эффективности в общем случае характеризуют уровень эффективности системы и рассматриваются как главные признаки оценки эффективности, которые раскрывают ее сущность [29].

В настоящее время проблема исследования эффективности систем является предметом специального научного направления – теории эффективности. Теория экономической эффективности сформировалась в СССР в начале 60-х годов благодаря работам С. Струмилина, Т. С. Хачатурова, В. В. Новожилова, А. И. Шустера и других ученых [44, 63 и др.]. И хотя в отечественной экономической литературе в последние десятилетия проблеме эффективности посвящено множество научных трудов и исследований, споры ученых вокруг понятия «эффективность» и методов ее оценки продолжаются.

В практике отечественных расчетов экономическая суть эффективности заключается в том, чтобы на каждую единицу затрат получить существенное увеличение дохода. То есть эффективность учитывает не только результат деятельности (прогнозируемый, планируемый, достигнутый, желаемый), но и рассматривает условия, при которых он достигнут, и определяется как соотношение полученного в процессе производства результата и затрат производства на его достижения [12]. Итак, практически все показатели эффективности строятся по схеме

$$\frac{\text{Результат}}{\text{Затраты}},$$

причем числитель может быть представлен примерно 34 показателям, а знаменатель – более 15.

Вопросам критериев эффективности при оценке целесообразности капитальных вложений в мелиоративные мероприятия посвящены работы известных исследователей в этой области, однако до сих пор не существует четкого и однозначного определения понятия «эффективность мелиоративных мероприятий». Существуют различные точки зрения, которые можно объединить в две группы, отражающие две основные концепции сущности эффективности мелиорации.

Что касается первой концепции, то эффективность мелиоративных мероприятий характеризуется не только увеличением производства сельскохозяйственной продукции, но и общим ростом производительности мелиорированных земель.

По мнению Васильева В. В. и А. Н. Фалилеева [19], экономическая эффективность мелиорации прежде всего выражается в росте производства продукции и получаемого чистого дохода в результате повышения плодородия почвы. Рост продукции на одной и той же площади можно принять за основной критерий при расчетах экономической эффективности от проведения мелиоративных мероприятий.

Согласно второй концепции сущность эффективности мелиоративных мероприятий отражается в росте производительности общественного труда при производстве продовольствия и аграрного сырья. Другими словами, эффективность в определенной степени отождествляется с производительностью труда [57]. Данную точку зрения разделяют большинство исследователей экономических проблем гидромелиорации (Е. А. Акрамов, В. С. Дмитриев, И. П. Кружилин, М. Н. Лойтер, М. Лич, Г. Ф. Раскин, В. М. Трегобчук и т. д. [13, 37, 57 и др.]).

Например, Б. С. Вайнштейн [18] акцентировал внимание на том, что следует отделять глобальный, хозрасчетный и локальный критерии экономической эффективности. При этом на уровне народного хозяйства в целом таким критерием является рост производительности общественного труда, который измеряется ростом физического объема национального дохода, а хозрасчетные и локальные критерии должны отражать конечную цель и результаты производства.

В соответствии с теорией Е. А. Акрамова [13] на всех ступенях развития общественного производства объективно действует единая тенденция – общий критерий эффективности затрат общественного труда – это достижение «максимума продукции при минимуме затрат». Автор считает, что такой критерий экономической эффективности капитальных вложений должен быть единым для всего общества и его отдельных отраслей, а также для всех направлений капитальных вложений. Но, что касается форм проявления данного критерия, то по отдельным отраслям должна быть учтена их специфика. Такого же мнения придерживались и большинство других исследователей.

Е. А. Акрамов рекомендовал для оценки отдельных направлений и объектов капитальных вложений критерием их экономической эффективности считать повышение производительности труда, а результативным показателем – экономии производственных затрат в расчете на 1 денежную единицу вложений. При этом «...при расчете эффективности в конкретной отрасли производства необходимо учитывать народнохозяйственную оценку эффективности капитальных вложений и экономические интересы отдельной отрасли и ее предприятий, то есть требования хозяйственного расчета» [13].

Ряд ученых (Д. Т. Зузик, В. С. Дмитриев, Е. А. Акрамов, Е. А. Зинь и др.) предлагали наряду с общепризнанными показателями оценки эффективности мелиоративных мероприятий использовать дополнительные показатели: фондоотдачу, производительность капитальных вложений, фондоемкость, производительность труда, прирост валовой продукции по видам, изменение себестоимости продукции или работ, снижение приведенных затрат, трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости, показатели использования водных и земельных ресурсов и т. д. [13, 27, 31]. Кроме того, отмечалось, что непосредственный эффект капитальных вложений выражается в увеличении объемов производства при одновременном росте производительности труда и снижении общественной стоимости продукции.

Некоторые авторы отмечают, что определение экономической эффективности вложений в мелиоративные мероприятия имеет свою специфику, поскольку данные меры активизируют и проявление других факторов – механизации, химизации и др. При этом получаемый эффект является не только следствием мелиорации, но и результатом усовершенствования средств и предметов труда. Главным показателем эффективности при этом будет выступать отношение дополнительного чистого дохода или экономии от снижения себестоимости и капитальных вложений, обусловивших этот прирост.

Согласно теории В. Н. Трегобчука [57] эффективность мелиорации как направления интенсификации сельского хозяйства проявляется в форме общеэкономической или технико-экономической эффективности. Повышение эффективности мелиорации обусловлено темпами роста производительности общественного труда. Основной формой эффективности на современном этапе автор считает

социально-экономическую эффективность. Наряду с основной формой эффективности мелиорации существуют дополнительные формы. Они определяются особенностями эффектов, конкретными затратами труда и ресурсов: фондо-, материало-, водоемкость.

В общем случае эффективность капитальных вложений на реконструкцию мелиоративных систем определяется путем сравнения показателей после их реконструкции с показателями системы до реконструкции, а также с показателями проектируемых систем аналогичного типа [3, 8 и др.].

Основной принцип эффективности хозяйственной деятельности – обеспечение оптимального достижения поставленных целей в условиях ограниченных средств [57]. В соответствии с этим должны быть сформулированы критерии измерения эколого-экономической эффективности вариантов проектных решений и выбора оптимального из них для реализации.

Однако понимание сути эффективности лишь как соотношения результатов и затрат является достаточно узким и ограничивает круг возможных применяемых критериев и показателей. Поэтому все большее распространение получает трактовка экономической эффективности инвестиций как категории, которая отражает соответствие затрат и результатов по проекту целям и интересам его участников в стоимостной форме и выражается степенью достижения цели функционирования объекта с учетом затрат ресурсов и времени [21, 43].

Следует отметить, что в рыночной экономике критерием эффективности при выборе вариантов инвестиций должен служить экономический интерес участников процесса инвестирования, который, по мнению многих исследователей, выступает в виде максимума дохода за весь срок реализации проекта, может выражаться в абсолютном измерении как сумма полученных средств или в относительном измерении, как норма дохода (прибыли) на вложенный капитал [59, 62].

Для каждой конкретной экономической задачи должен быть сформирован набор показателей эффективности, которые являются мерой степени достижения цели и значение которых точно или в достаточной степени оценивают альтернативные варианты действий. По мнению М. А. Хвесика [65], показатели (измеримые величины) являются частными производными от критерия, который является методологической базой выбора показателей оценки, то есть конкретным выражением критерия оценки. При едином критерии могут быть несколько показателей оценки или их система. В отличие от показателя, который лишь оценивает количественно или качественно степень достижения цели, критерий эффективности позволяет сделать вывод об оптимальности того или иного решения.

Подобные показатели позволяют сопоставить реальные результаты функционирования системы с ожидаемыми, а также сравнить альтернативные решения с целью выбора из них наилучшего. В таком случае показатели эффективности играют роль критериев оптимальности альтернатив в процессе принятия управленческих решений.

В отличие от критериев эффективности, критерий оптимальности характеризует, насколько система близка к оптимальному (рациональному) состоянию. Критерием оптимальности должен быть количественный или порядковый показатель, выражающий предельную меру экономического эффекта принимаемого решения для сравнительной оценки возможных альтернатив и выбора лучшего из них. По определению Б. С. Вайнштейна и А. Г. Ковалева [18] критерий оптимальности – это главный целевой результат запланированных социально-экономических процессов, который диктует методический подход к сравнению альтернатив и оценки величины эффекта. На основе выбранного критерия строится целевая функция, и задача оптимизации при этом сводится к поиску ее экстремума.

Проблема поиска критерия оптимальности, пригодного для использования в любых экономических задачах, связанных с необходимостью выбора лучшего из альтернативных вариантов, продолжается уже не одно десятилетие и до сих пор окончательно не решена. Отечественными учеными было высказано множество предложений по его обоснованию и использованию.

Главным критерием хозяйственной деятельности ранее считали «максимальное удовлетворение потребностей общества». В частности, предлагалось максимизировать объем выпущенной продукции (чистой, условно чистой, реализованной и т. д.), прибыль и рентабельность производства, эффективность капитальных вложений и показатели уровня жизни. Минимизации «подлежали» полные и приведенные затраты, количество потраченного времени, трудовые затраты, площадь используемой территории и многие другие показатели.

В общем случае для того, чтобы правильно решить задачу принятия оптимальных и экономически обоснованных управленческих решений, необходимо выбирать такие категории, при которых лучше удовлетворяется некоторая общая цель, принятая в качестве критерия оптимальности.

Значительный интерес к решению проблемы выбора и обоснования критериев оптимальности при проектировании водохозяйственно-мелиоративных мероприятий представляет подход Л. М. Рек-

са. По его мнению [49], вообще обоснование экономических критериев оптимальности требует рассмотрения и формулировки в соответствии глобального и локального критериев. При этом глобальный критерий минимизирует совокупные затраты общественного труда на производство общественно необходимой продукции, служит тем самым мерилем совокупной общей эффективности функционирования народного хозяйства и соответствует требованиям основного экономического закона. Поэтому выбор и обоснование глобального критерия не являются задачей, которая решается формально-математическими методами, а являются социально-экономической проблемой и задаются внешне как заказ общества.

Тем не менее мелиорация имеет свои локальные цели, в соответствии с которыми должны эффективно существовать локальные критерии и отраслевой критерий оптимальности. В качестве локальных критериев на практике чаще всего используют максимум прибыли и минимум затрат. При этом необходимо отметить, что локальные критерии оптимальности не должны противоречить глобальным.

Автор приходит к выводу о том, что в зависимости от зоны расположения объекта обоснование эффективности мелиоративных мероприятий на стадии проектирования целесообразно осуществлять или по критериям, отражающим действие в экономическом процессе, то есть расходы при фиксированном результате (показатели приведенных затрат и суммарные расчетные расходы), или по критериям, отражающим в экономическом процессе как действие, так и его результат (показатели отношения национального дохода к полным затратам труда, отношение национального дохода к авансированным фондам и капиталовложениям, показатель абсолютной эффективности капиталовложений; показатели рентабельности; критерий удельной производительности труда и показатели динамического инвестиционного анализа: интегральный эффект и внутреннюю норму доходности).

Известный французский экономист Пьер Массе при решении вопроса выбора оптимального варианта инвестиций оказывал предпочтение показателю дисконтированной суммарной прибыли, при этом исследовал и показатели внутренней нормы эффективности и критерии минимизации текущих или совокупных расходов [41].

По мнению В. М. Хобты, в общем случае альтернатива может быть признана оптимальной не только тогда, когда она соответствует достижению экстремальных показателей целевой функции, но и тогда, когда она обеспечивает удовлетворительный уровень достижения цели или фиксацию определенного результата.

При этом следует отметить, что экономико-экологическая оценка эффективности мелиоративных мероприятий – это определение их конечной эффективности с учетом экономических оценок положительных и отрицательных экологических последствий, обусловленных мелиорацией и ее влиянием на окружающую среду [57]. А основным экологический критерий, согласно которому должны выбираться показатели, – обеспечение экологического равновесия, высокого качества природной среды, сохранения и приумножения его воспроизводственных функций.

Таким образом, выбор показателей и критериев эколого-экономической эффективности на каждой стадии оценки и методов их расчета, по нашему мнению, должен быть осуществлен с учетом следующих основных условий:

1) цель реализации проекта. Общеизвестно, что цель определяет средства. Поэтому выбранные критерии и показатели эколого-экономической эффективности мелиоративных проектов должны, в первую очередь, соответствовать выбранной цели его функционирования и, как правило, целям и интересам его участников;

2) стадия осуществления оценки. Согласно современным принципам проектного и инвестиционного анализа выбор наилучшего варианта проектного решения осуществляется поэтапно. Именно поэтому оценка также осуществляется в несколько этапов и выбор критерия оптимальности и эффективности зависит от целей расчетов на соответствующей стадии оценки;

3) масштаб оценки проекта. Мелиоративный проект может оцениваться на общегосударственном, отраслевом, региональном уровне или с точки зрения конкретного сельхозпроизводителя, хозяйства, инвестора или кредитора. Соответственно методы расчета экономических показателей будут отличаться;

4) имеющаяся информационная база, доступность и степень детализации необходимых данных для эколого-экономических расчетов, существование определенных условий и ограничений;

5) особенности расчета экологических и экономических показателей в водохозяйственно-мелиоративной отрасли.

Выбор надежных показателей и критериев для оценки эффективности инвестиций с целью обоснования оптимального варианта для реализации – чрезвычайно важный этап в системе разработ-

ки мелиоративного проекта. Ведь именно после проведения окончательного инвестиционного анализа принимается решение о реализации проекта.

С учетом исследований ведущих авторов в области анализа эффективности инвестиций, в том числе в природохозяйственных отраслях [14, 21, 43, 61 и др.], а также учитывая особенности отрасли, методика инвестиционной оценки мелиоративных проектов должна базироваться на следующих принципах:

1. Необходимость использования показателей, которые непосредственно связаны с основными целями и задачами проекта.

2. Целесообразность ориентации на комплекс показателей, характеризующих различные аспекты проекта.

3. Система избранных показателей должна соответствовать особенностям функционирования экономики страны, отдельной отрасли и интересам основных участников инвестиционного процесса.

4. Для проектов государственного значения – ориентация не столько на экономическую, сколько на экологическую и социальную эффективность мелиоративного проекта. Если проект важен для народного хозяйства, можно игнорировать принцип положительности и максимума эффекта.

5. Для коммерческих проектов – получение дохода не ниже желаемого уровня, который, кроме того, компенсирует риск неопределенности конечного результата.

6. Полная окупаемость вложенных средств за счет доходов от реализации проекта в пределах срока, приемлемого для инвестора.

7. Привлечение при необходимости качественных показателей и экспертных оценок, которые позволяют учесть эффекты, не поддающиеся стоимостному измерению (социальный, экологический).

В соответствии с такими принципами может быть осуществлен выбор критериев для обоснования эколого-экономической целесообразности инвестирования в мелиоративные проекты и сравнительной оценки его альтернативных вариантов.

С учетом изложенного нами предложены общие подходы и конкретные методики по принятию решений по эффективности реализации инвестиций в водохозяйственно-мелиоративные проекты зоны Полесья, которые базируются на современных международных подходах, однако учитывают особенности функционирования национальной экономики и отрасли в частности.

Литература

1. Закон України «Про інвестиційну діяльність» від 18.09.1991 №1560-ХІІ.
2. Постанова ВРУ «Про концепцію розвитку водного господарства України» від 14.01.2000 № 1390-ХІV.
3. Временная методика определения экономической эффективности капитальных вложений в строительство гидромелиоративных систем и освоение мелиорируемых земель. – Киев: Ин-т экономики АН УССР, 1988. – 33 с.
4. Галузева програма «Водне господарство України – 2010». Затверджена наказом Держводгоспу України 28.09.1999. – Київ, 1999. – 23 с.
5. Инструкция (методика) по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ. – М.: Полиграфист, 1972. – 34 с.
6. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М., 1978. – 31 с.
7. Методические рекомендации по определению экономической эффективности капитальных вложений в сельское хозяйство. – М.: Всесоюз. академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина, 1986. – 44 с.
8. Рекомендации по определению экономической эффективности капитальных вложений в мелиорацию земель. – М.: Союзводпроект, 1990. – 34 с.
9. Рекомендации по экономической и финансовой оценке проектов водохозяйственного строительства за рубежом. – М.: Союзводпроект, 1989. – 130 с.
10. Технические указания по оптимизации параметров горизонтального дренажа на основании экономико-математического расчета при проектировании осушительных систем в Украинской ССР: НТД 33-63-090-89 / Н. А. Лазарчук [и др.]. – Киев: Укргипроводхоз, 1989. – 26 с.
11. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. – М.: Экономика, 1969. – 15 с.
12. Оценка эффективности инвестиционных проектов / Т. А. Агальцова [и др.]. – URL: www.nntu.scipnov.ru/RUS/VECH/metod/ych_pos/title.htm (дата обращения: 23.09.2016).
13. Акрамов Э. А. Проблемы методологии определения эффективности капитальных вложений на примере ирригации и мелиорации земель Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1973. – 179 с.
14. Андреева Н. Н., Харичков С. К. Экологоориентированные инвестиции в системе обеспечения ресурсно-экологической безопасности. – Одесса: Ин-т проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины, 2000. – 196 с.

15. Бахтін Ю., Трегобчук В. Досвід зарубіжних країн у державній підтримці розвитку водного господарства // Водне господарство України. – 1997. – № 2. – С. 27–31.
16. Буркинский Б. В., Ковалева Н. Г. Экономические проблемы природопользования. – Киев: Наук. думка, 1995. – 142 с.
17. Буркинский Б. В., Степанов В. Н., Харичков С. К. Природопользование: основы экономико-экологической теории. – Одесса: Ин-т проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины, 1999. – 350 с.
18. Вайнштейн Б. С., Ковалев А. Г. Хозяйственный механизм в капитальном строительстве. – М.: Экономика, 1983. – 200 с.
19. Васильева В. В., Фалилеев О. М. Экономическая эффективность водохозяйственного строительства. – М.: Стройиздат, 1975. – 107 с.
20. Вагаманюк З. Г., Стирський М. В. Проблеми застосування динамічних методів оцінки інвестиційних проектів // Фінанси України. – 1998. – № 5. – С. 5–10.
21. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционного проекта: Теория и практика : учеб.-практ. пособие. – М.: Дело, 2001. – 832 с.
22. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яцика, В. М. Хорева. – Київ: Генеза, 2000. – 456 с.
23. Волков И. М., Грачева М. В. Вероятностные методы анализа рисков – URL: koi.cfin.ru/finanalysis/monte_carlo.shtml?printversion (дата обращения: 20.09.2015).
24. Воронов К. Инвестиции и капиталовложения. – URL: [//www.aup.ru/articles/investment/6.htm](http://www.aup.ru/articles/investment/6.htm) (дата обращения: 03.08.2016).
25. Галушкина Т. П. Экономические инструменты экологического менеджмента (теория и практика). – Одесса: Ин-т проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины, 2000. – 280 с.
26. Гордійчук А. С., Стахів О. А. Економіка і організація діяльності водогосподарських підприємств. – Рівне: РДТУ, 2000. – 272 с.
27. Дмитриев В. С. Экономика мелиорации земель. – М.: Экономика, 1984. – 136 с.
28. Дорогунцов С. І., Муховиков А. М., Хвесик М. А. Оптимізація природокористування : в 5 т. : навч. посібник. – Київ: Кондор, 2004. – Т. 1 : Природні ресурси: еколого-економічна оцінка. – 291 с.
29. Економічна енциклопедія : в 3 т. / редкол.: С. В. Мочерний (відп. ред.) [та ін.]. – Київ: Видавничий центр «Академія», 2000. – Т. 1. – 864 с. – Т. 2. – 848 с. – Т. 3. – 952 с.
30. Забарная Э. Н., Харичков С. К. Инновационно-инвестиционная система: методология формирования и развития. – Одесса: Ин-т проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины, 2002. – 140 с.
31. Зулик Д. Т. Экономика водного хозяйства. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Колос, 1980. – 400 с.
32. Иванов Е. К., Баткимен Я. В. Проектирование объектов реконструкции в зоне осушения // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 12. – С. 14–16.
33. Ковшун Н. Е. Еколого-економічна ефективність осушувальних меліорацій в Поліському регіоні України (на прикладі Рівненської області) : дис. ... канд. економ. наук : 08.08.01 – економіка природокористування і охорони навколишнього середовища. – Рівне, 1999. – 166 с.
34. Кожушко Л., Окорський В., Костюкевич Р. Стратегічні проблеми менеджменту у водному господарстві в умовах земельної реформи // Водне господарство України. – 2001. – № 3–4. – С. 18–24.
35. Инвестиционное проектирование : учеб. пособие / А. Г. Комаров, Е. М. Рогова [и др.]. – 3-е изд. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2001. – 106 с.
36. Коммерческая оценка инвестиционных проектов. Основные положения методики. – URL: www.altrc.ru/common/art64-3.shtml (дата обращения: 23.09.2016).
37. Кошечкин С. А. Концепция риска инвестиционного проекта. – URL: [// koshechkin.narod.ru/riskconcept.html](http://koshechkin.narod.ru/riskconcept.html) (дата обращения: 13.08.2016).
38. Липсиц И. В., Коссов В. В. Инвестиционный проект: методы подготовки и анализа : учеб.-справ. пособие. – М.: БЕК, 1996. – 304 с.
39. Лурье А. Л., Нит И. В. Экономико-математическое моделирование социалистического хозяйства. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. – 248 с.
40. Маслов Б. С., Минаев И. В. Мелиорация и охрана природы. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 271 с.
41. Массе П. Критерии и методы оптимального определения капитальных вложений. – М.: Статистика, 1971. – 503 с.
42. Мелиорация. Энциклопедический справочник. – Минск: Белорусская советская энциклопедия имени Петруся Бровки, 1985. – 567 с.
43. Непомнящий Е. Г. Инвестиционное проектирование : учеб. пособие. – Таганрог: ТРТУ, 2003. – 262 с.
44. Новожилов В. В. Проблемы измерения затрат и результатов при оптимальном планировании. – М.: Наука, 1972. – 434 с.
45. Орлов П. Оцінка ефективності інвестицій // Економіка України. – 1997. – № 1. – С. 30–36.
46. Попов Е. В., Писчасов Ф. А. Анализ эффективности прямых инвестиций. – URL: [//www.dis.ru/fm/arhiv/2001/4/14.html](http://www.dis.ru/fm/arhiv/2001/4/14.html) (дата обращения: 21.09.2015).
47. Райнин М. А., Быстрицкая Н. С. Теоретические основы экономической оценки мелиоративных мероприятий // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 32–34.

48. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.
49. Рекс Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. – М.: Аслан, 1995. – 192 с.
50. Реалізація проектів будівництва й реконструкції водогосподарських об'єктів на тендерній основі / Н. А. Рокочинська [та ін.] // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. Економіка. – Рівне, 2003. – Вип. 6(12). – С. 88–97.
51. Принципи удосконалення технологій розробки проектів будівництва і реконструкції мелиоративних об'єктів та оцінки їхньої ефективності на базі САПР / А. М. Рокочинський [та ін.] // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2003. – Вип. 6 (19). – С. 106–115.
52. Загальні практичні критерії, умови та моделі еколого-економічної оптимізації проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель / А. М. Рокочинський [та ін.] // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Рівне, 2001. – Вип. 5(12). – С. 232–242.
53. Рокочинський А. М. Оптимізація проектних технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель : дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02 – сільськогосподарські меліорації (технічні науки). – Київ, 2002.
54. Рыскулов Д. М. Зарубежные методы экономической оценки эффективности мелиоративных и водохозяйственных проектов // Мелиорация и водное хозяйство. Сер. Экономика и управление в мелиорации и водном хозяйстве: обзорная информация / ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М., 1988. – Вып. 2. – С. 1–48.
55. Справочник. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 1 : Экономика / сост.: Е. И. Сердюк, В. И. Кузнецов, Л. Г. Артемова ; под ред. В. Ф. Моховикова. – М.: Колос, 1984. – 255 с.
56. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення. Наукове видання / за ред. П. І. Коваленка. – Київ: Аграрна наука, 2001. – 214 с.
57. Трегобчук В. М. Экономико-экологические проблемы гидромелиорации / АН УССР. Ин-т экономики. – Київ: Наук. думка, 1990. – 208 с.
58. Труды проблемной лаборатории по экономической эффективности капиталовложений в ирригацию / Ташкентский институт народного хозяйства МВ и СС УзССР. – Вып. 123. – Ташкент, 1976. – 188 с.
59. Тучинский Б. Г. Методика оценки эффективности инвестирования проектов комплексной программы строительства ветроэнергетических станций в Украине. – URL: [//ekomir.crimea.ua/activity/energy/tesises/tes_36.html](http://ekomir.crimea.ua/activity/energy/tesises/tes_36.html) (дата обращения: 21.09.2015).
60. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. – Рівне: НУВГП, 2007. – 257 с.
61. Формирование хозяйственных решений / под общ. ред. В. М. Хобты. – Донецк: Каштан, 2003. – 416 с.
62. Хавранек П. М., Беренс В. Руководство по оценке эффективности инвестиций : пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1995. – 528 с.
63. Хачатуров Т. С. Эффективность капитальных вложений. – М.: Экономика, 1979. – 336 с.
64. Хвесик М., Ковшун Н. До питання методології визначення еколого-економічної ефективності осушувальних меліорацій // Економіка України. – 1996. – № 4. – С. 83–87.
65. Хвесик М. А., Радкевич Н. М. Комплексний аналіз розвитку водних меліорацій в Україні. – К.: РВПС України НАН України, 2003. – 128 с.

Глава 11. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ И УСЛОВИЯ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЕ ПОЧВЫ, РЕЖИМ РАБОТЫ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

11.1. Природные и антропогенные факторы формирования переувлажненных земель

Рассматривая природные грунты, можно отметить, что они служат своеобразным зеркалом и памятью ландшафта, отражая в своем строении, морфологических признаках, составе и свойствах, которые сформировались в результате элементарных почвенных процессов, ландшафтно-экологические условия своего местоположения. Поэтому нет принципиального различия между совокупностью условий (факторов) почвообразования как причины и предпосылки формирования почвы и самого грунта с его генезисом, строением и свойствами как последствиями воздействия этих условий и факторов на материнскую породу в течение определенного времени. Этот Докучаевский принцип соответствия почвы факторам почвообразования остается в силе для природных почв [1, 2].

Водно-воздушный режим переувлажненных земель формируется под влиянием постоянных и переменных факторов. К *постоянным* факторам относят: геологические и геологически-инженерные, ландшафтно-геоморфологические, орографические, к *переменным* – гидрогеологические (реэвний и гидрохимический режимы подземных вод), гидрологические (гидробиологический и гидрохимический режимы поверхностных вод) и климатические (влажность, осадки, температура воздуха, давление, солнечная радиация).

На осушаемых землях действуют те же факторы, но к ним добавляются искусственные образования (гидроооружения, искусственное регулирование стока, интенсивность дренирования, орошения, агротехника, агромелиоративные мероприятия и т. п.). При анализе факторов периодического переувлажнения почв заслуживают внимания:

- климатические условия, растительность, рельеф и его генезис, почвообразующие породы;
- наличие в профиле почвы внутренних горизонтов с ухудшенной водопроницаемостью или внутрипочвенных либо подстилочных горизонтов с высокой водопроницаемостью (песчаных, щебнистых);
- наличие на поверхности почвы органоэнного горизонта, способного аккумулировать влагу и удерживать ее от поверхностного стока и испарения [1, 2, 3, 4].

Климатический фактор является весомой причиной возможного поверхностного переувлажнения. Наиболее общее значение имеет атмосферная увлажненность территории. Подлежит статистической обработке определенный ряд многолетних метеорологических наблюдений с расчетом коэффициента увлажненности (К) по Высоцкому-Иванову, показателя увлажненности Д. И. Шашка (МСИ), гидротермического коэффициента (ГТК) по Селянинову. Определяют повторяемость определенных значений этих показателей в полном ряде наблюдений и строят график-номограмму обеспеченности.

Проанализированные нами факторы показывают, что по совокупности биоклиматических показателей можно сравнивать различные участки и массивы, районы, ландшафтные провинции, подзоны и зоны. К сожалению, имеющаяся сеть метеорологических станций неполно характеризует дифференцированность агроклиматических условий на территории Украины. Проблемы возникают при составлении усредненной агроклиматической характеристики административных районов, не всякий из которых имеет отдельную метеостанцию, что требует интерполировать данные. Поэтому при проведении стационарных агромелиоративных исследований организуют метеорологический пункт, а данные предыдущих лет берут по ближайшей метеостанции, причем часто приходится учитывать не топографическую, а климатическую близость.

При рассмотрении влияния рельефа на режимы увлажнения и аэрации почвы используют имеющиеся данные геоморфологического или физико-географического районирования, а также данные топографических карт крупных масштабов. Работа сводится к определению всех участков с котловинным микрорельефом, выделение всех пониженных участков мезорельефа, а также бессточных равнинных участков террас и плато, слабосточных участков равнинно-волнового рельефа с уклонами до 1, 2, 3, 5 ° (или 0,0–0,001; 0,001–0,005 и т. д.).

При проектировании осушительной сети очень важно учитывать прогнозную эволюцию изогипс и уклонов, что может существенно повлиять на уклоны дренажных линий, коллекторов и каналов. Известны случаи, когда в течение нескольких десятилетий уклоны исчезали или менялись, становились обратными. Действие же дренажных систем рассчитано на десятки и сотни лет.

Существует мнение, согласно которому переувлажненность наблюдается только в понижениях рельефа. Такой взгляд сложился в условиях субгумидного климата Лесостепи, где переувлажнение

случается только в результате наличия близких к поверхности грунтовых вод. Чем интенсивнее увлажнена территория, тем большая часть различных форм и элементов рельефа испытывает чрезмерное увлажнение, но вследствие неодинаковой поверхностной дренированности этих элементов (вершины выпуклых склонов, холмов, гряд, повышенные плато и ниже расположенные террасы с равнинно-слабоволнистым рельефом, микро- и мезокотловины на плато и террасах, поймы и понижения, повышения на них) происходят дифференциация и перераспределение поверхностного стока и неоднородность залегания грунтовых вод, следовательно, и степень периодического переувлажнения (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Соотношение увлажненности территории и периодического переувлажненных почв на различных формах рельефа

Формы и элементы рельефа	Формы и элементы рельефа					
	0,4-0,5	0,7-0,9	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,3	<1,3
Замкнутые понижения (пади, котловины)	+	++	+++	++++	++++	++++
Микро- и мезокотловины плато и террас	-	+	+	++	+++	++++
Равнинные бессточные участки плато и террас	-	-	+	+	++	+++
Волнистые повышение плато, слабоположистые склоны	-	-	-	-	+	+++
Слабоположистые повышения и склоны	-	-	-	-	+	++
Выпукло-пологие повышения и плоские склоны	-	-	-	-	-	+

Примечание: P – сумма осадков, мм; E_щ – суммарное испарение, «-» – отсутствует, «+» – неустойчивое, «++» – значительное, «+++» – сильное, «++++» – очень сильное.

Как видно из таблицы, в экстрагумидных зонах избыточного увлажнения (Прикарпатье, Карпаты) периодическое поверхностное переувлажнение распространяется на выпукло-пологие плато и плоские склоны, значительное переувлажнение испытывают слабо-выпукло-пологие повышения и склоны, интенсивное переувлажнение – еще хуже дренированные выровненные и бессточные формы и элементы рельефа. В достаточно увлажненных зонах (южная часть Закарпатской низменности, Полесье, Западная Лесостепь) переувлажняются слабопологие склоны (слабо), бессточные плато и террасы (умеренно) и понижения (интенсивно). Здесь следует обратить внимание на одно важное обстоятельство, которое подробнее будет рассматриваться ниже: в таблице показана степень переувлажнения форм и элементов рельефа, которая проявляется при привычном зональном составе антропогенных отложений. Это преимущественно пылеватые (крупно-пылеватые) лёссовидные суглинки; литологические отклонения от этой нормы значительно влияют на характер и степень аэровлажности и могут также вызвать ее отсутствие. Касается это всех трех уже рассмотренных зон увлажнения. Примером отсутствия поверхностного переувлажнения являются равнинные низкие поймы и террасы горных рек Карпат и Прикарпатья; подпочвенное же переувлажнение их распространено ограничено.

В переходной подзоне между Полесьем и Лесостепью (центральные части Черниговской, Киевской, Житомирской областей, северные и центральные – Винницкой, Сумской, Хмельницкой, восточные – Черновицкой) с коэффициентом увлажненности 0,9–1,0 большую распространенность имеет переувлажнение замкнутых котловин, а также топей – выходов подкожных грунтовых вод на отдельных участках склонов, прямо не связанных с поверхностной дренированностью. При определенных условиях под влиянием почвенно-литологических факторов здесь возможно и переувлажнение равнинных бессточных плато и террас.

Периодически переувлажненные почвы на Полесье приурочены к понижениям с неглубоким залеганием грунтовых вод и в результате весеннего, а во влажные годы – летнего (дождевого) поднятия уровня грунтовых вод происходит переувлажнение различной интенсивности. К подпочвенному переувлажнению присоединяется поверхностное в тех случаях, когда в профиле на той или иной глубине залегают обогащенные глиной иллювиальные оглеенные горизонты или подстилочные породы более тяжелого гранулометрического состава, или плотные слои известняков, мергелей, а не карбонатных каменистых пород. Смешанное поверхностно подпочвенное переувлажнение возникает только при наличии супесчаного гранулометрического состава верхнего горизонта дерново-подзолистых почв и соответственно – суглинков в составе элювия, который в оглеенном состоянии становится слабодопроницаемым.

На Полесье осадки и температурный режим распределяются довольно однообразно. Дифференциация проявляется в росте континентальности и повторяемости засушливых лет с запада на восток. Волинское Полесье характеризуется большей повторяемостью влажных лет, а Левобережное – засушливых. Вообще ведущими факторами, формирующими режим периодического переувлажнения, являются рельеф и литология пород почв.

Анализ переувлажнения на Полесье показал, что рельеф непосредственно влияет на глубину залегания грунтовых вод и опосредованно – на распределение гранулометрического состава, в частности относительно тяжелых и слабОВОДПРОНИЦАЕМЫХ. Литологический фактор непосредственно определяет наличие или отсутствие поверхностного переувлажнения в чистом (сравнительно редко) или в смешанном виде с подпочвенным. Отдельным фактором выступает степень дифференцированности почвенного профиля, в частности наличие и выраженность иллювиального горизонта. Глинистые горизонты хотя и имеют самую низкую по данному гранулометрическому составу водопроницаемость, но их образование зависит от интенсивности подпочвенного или поверхностного переувлажнения, то есть это явление вторичное. При взаимодействии нескольких процессов, ухудшающих водопроницаемость почвы, возможно проявление обратной положительной связи, хотя и не в такой яркой форме, как это проявляется в Прикарпатье.

Причинами менее интенсивного нарушения поверхностной дренированности в Полесье является отсутствие регулярного ежегодного атмосферного переувлажнения, легче гранулометрический состав почв и пород и соответственно медленнее снижение водопроницаемости при иллювиальном кольтматировании профиля.

Проведенные нами наблюдения во влажных зонах показали, что в Полесье широко распространено контактное оглеение почв. Оно возникает каждый раз, когда под слоем легкого гранулометрического состава залегает более тяжелый, а значит, менее водопроницаемый слой. Характерно, что подзолообразование, которое ярко проявляется в дерново-подзолистых и серых лесных почвах, образует образный профиль, где относительно легкого элювия залегает более тяжелый иллювий. Итак, эти два явления легко спутать, тем более что иллювиальный горизонт дерново-подзолистых почв чаще всего в Полесье не сплошной, а состоит из более или менее регулярных, близких к горизонтальным слоев суглинка и песка, которые сами собой усложняют картину внутренней дренированности, уже не говоря о необходимости логического объяснения причин такого «ребристого» устройства иллювия, поскольку в болотно-подзолистых (дерново-подзолистых) почвах слои песчаного элювия имеют сизо-оливковую окраску, то есть являются одновременно глеевыми, бурые же слои иллювия сами по себе свидетельствуют об окислительных условиях.

В дерновых борových песчаных почвах иллювий вообще отсутствует, вместо него в средней части профиля проходят сравнительно тонкие псевдофибры. Их потенциальная роль как возможных нарушителей водопроницаемости не совсем ясна, ведь в толще песка псевдофибра толщиной 1–2 см водоупоров не создает, хотя при наличии оглеения способна влиять на режим увлажнения.

Иногда возникают дискуссии относительно первоначальной причины возникновения дифференцированного по водопроницаемости профиля дерново-подзолистых и серых лесных поверхностно оглеенных почв. Некоторые почвоведы считают, что первоначальной причиной дифференциации является двучленность почвообразовательной породы, другие же считают причиной уплотнения почвенные процессы. Без сомнения, в естественных условиях можно найти случаи чисто почвенного дифференцирования и переувлажнения, так же как и в первоначальном двучленном строении материнской породы, но не менее часто эти явления смешиваются в одном и том же профиле, и тогда выявить причины трудно.

Частым литологическим феноменом в Полесье является подсыпка песка цельными карбонатными прослойками, которые снижают дренированность и являются причиной периодического переувлажнения образованных на таких породах почв. Для правильного учета влияния таких подстилающих слоев важно определить их критическую глубину. При проектировании дренажа их негативное влияние время увеличивается, особенно при значительной глубине залегания, например более 1 м. Очевидно, заметное переувлажнение возникает при залегании плотного карбонатного слоя в пределах второй трети метрового слоя, в меньшей степени – последней трети и незначительно – по глубокой подсыпке.

Переувлажнение в Полесье очень сложное. Например, на дерново-глеевых карбонатных почвах Западного Полесья на общую дренированность и режим переувлажнения влияют трещины подстилающего мергельно-известнякового слоя, которые возникают при периодической пересушке. Было также установлено, что в дерново-подзолистых почвах пылевато-суглинистого состава водопроницаемость может значительно снижаться из-за пересушения, которое происходит без образования

трещин и тем более опасно, так как затрудняет проникновение дождевой влаги почвы при выпадении дождей после длительного засушливого периода.

Отдельно следует рассматривать дренажную роль подсыпки легкими, преимущественно песчаными породами. Само по себе типичное строение дерново-подзолистой почвы в Полесье включает в себя ограниченную глубину суглинистого иллювия, который почти всегда подстилается песком. Поэтому в случае недостаточного количества измерений водопроницаемости, особенно при их отсутствии, необходимо в первую очередь рассматривать не потенциальное переувлажнение, а потенциальную способность почвы удерживать влагу. Только при создании гравитационного подпора и временной верховодки можно говорить об опасности переувлажнения, но следует помнить, что песчаные почвы первым минимумом имеют слабую водоудерживающую способность и небольшую высоту капиллярного поднятия, а затем в зависимости от глубины образования верховодки последняя может быть полезным или вредным явлением либо существенно не влиять на водно-воздушный режим, в частности на глубине более 1 м.

В конце концов, определенную степень заболоченности и гидрофильности, присущую ландшафтам Полесья, лучше сохранить, чем создать аридизованный участок во влажных зонах (иногда даже говорят об опустынивании ландшафтов в Полесье в результате осушения).

В связи с изложенным следует критически оценить теорию так называемой ренатурализации мелиорированных ландшафтов. Для ее осуществления считается достаточным прекратить мелиоративное влияние, остановить эксплуатацию гидротехнических сооружений и применение специальных технологий осушаемого мелиоративного земледелия на ранее мелиорированных землях. По крайней мере, так выглядит «ренатурализация ландшафтов» в практической плоскости из-за отсутствия в государстве средств на осуществление эксплуатации сооружений и интенсивное использование мелиорированных земель.

Это видно на примере отдельных районов проведения мелиорации, где наблюдается искажение естественного состояния и динамики гидрологических, почвенных процессов, структуры экосистем и геохимических ландшафтов настолько, что стихийный ход их развития направляется к экологическому бедствию. Итак, процессами ренатурализации следует управлять и их контролировать.

Как показали наши исследования, влияние природной растительности на переувлажненность почв касается преимущественно таких специфических случаев, как верховые и переходные болота. Менее значимым является влияние целинной кустарниковой и ситнико-белоусниковой травяной растительности. Плотная дернина ухудшает водопроницаемость почвы с поверхности и способствует усилению поверхностного атмосферного переувлажнения. Такие угодья, регистрируемые при землеустройстве, как луга и пастбища, к продуктивным ландшафтам не принадлежали из-за низкой урожайности и качества сена. Они часто были вторичным следствием старой частной системы землевладения на Прикарпатье в период после коллективизации 40-х годов, когда ранее разграниченные частные полоски малоплодородной земли были механически объединены в большие поля и распахивались мощными тракторами ДТ-54 на глубину 22–24 см и более, тогда как гумусовый пахотный слой при конном способе обработки не превышал 15–16 см. Новый мощный пахотный слой стал преимущественно элювиально-глеевым, плодородие его было низким в условиях интенсивного поверхностного переувлажнения, ранее сдерживалось гребневанием или вспашкой в очень узкие загонки.

Влияние состава породы на почвообразование очень большое, а при анализе факторов переувлажнения, в частности атмосферного, гранулометрический состав и водопроницаемость материнской породы и образованной на ней почвы имеет ведущее значение. В предгорье дифференциация степеней переувлажнения еще больше зависит от водопроницаемости породы и почвы, чем рельефа, однако литологический состав почвопороды в значительной степени координируется с рельефом. По доминирующему в Прикарпатье формированию почв на делювиальных пылевидных суглинках, которые в оглеенном состоянии становятся слабоводопроницаемыми, в экстрагумидных условиях этой зоны переувлажнением охвачены почти все формы и элементы рельефа.

Важно отметить, что в процессах элювиально-иллювиальной дифференциации и поверхностного оглеения суглинистых почв заложен механизм экспоненциального ухудшения водопроницаемости через обратную положительную связь процессов и их последствий – состава и свойств отдельных горизонтов. Оподзоливание и лессиваж формируют иллювиальный горизонт, обогащенный физической глиной и особенно илом. Сниженная водопроницаемость иллювиального горизонта в условиях избыточного атмосферного увлажнения вызывает оглеение. Последнее еще больше ухудшает водопроницаемость, кроме того, усиливается псевдооглеение. Интенсивный ход обоих процессов еще больше усиливает дифференциацию гранулометрического состава и, кроме того, приводит к обезструктуриванию и уплотнению почвы, в результате чего значительно ухудшается внутренняя дре-

ванность, а следовательно, возникают самоподдерживающаяся естественный процесс иллювиальная кольматация и глееконкреционная компрессия. Последнее обстоятельство необходимо учесть при проведении мелиоративных работ, то есть конструировании искусственного почвообразовательного процесса. Мелиоративное влияние должно предусматривать разрушение механизма обратной положительной связи двух процессов, усиливать дифференциацию профиля, иначе все усилия по повышению водопроницаемости окажутся бесполезными и будут со временем преодолены обратным влиянием природных процессов.

В Западной Лесостепи при суглинистом составе лессовидных пород степень переувлажнения зависит от поверхностной дренированности, то есть от расчлененности рельефа: если на плато и террасах встречаются водопроницаемые породы, например щебнистый элювий известняков, переувлажнение ослабляется или исчезает; если же случаются глины, элювий сланцев, то водопроницаемость может ухудшаться, а поверхностная переувлажненность усиливаться.

В Полесье литология грунтовых пород оказывает разнообразное влияние на режим увлажнения почв. Наиболее типичным является почвообразование на водно-ледниковых и моренных песках, но это особенность не зоны смешанных лесов, а только тех ее частей, где доминируют моренные равнины типа полесья, имеющих широкое распространение на Восточноевропейской равнине. Известно, что Украинское Полесье хотя и входит в подтаежную суббореальную смешанно-лесную область, но представлено лишь одним из типов строения рельефа – равномерными равнинами с доминирующим распространением антропогенных отложений ледникового происхождения.

Специфика рельефа Полесья (низменная слабосточная равнина) способствует настоящему заболачиванию с образованием торфяных и торфяно-глеевых почв периодического переувлажнения. Пожалуй, главной особенностью Полесья по периодическому переувлажнению почв является преобладание легких почв с широким диапазоном состояний увлажненности, в частности наличием периодов с острым дефицитом влаги и влагозапасов почвы. В пределах Украины с запада на восток тенденция к пересушиванию почвы одновременно с переувлажнением значительно возрастает (повторяемость засушливых лет достигает здесь 3–4 из 25 при 1 из 25 на Западном Полесье).

Итак, на генезисе свойств гидроморфных почв сказываются особенности климата, характер их водного и минерального питания, геоморфологии, почвообразующих пород, растительности и современная хозяйственная деятельность человека.

Избыточное водное питание почв гумидной зоны Украины возникает вследствие перераспределения атмосферных осадков или застоя их на слабопроницаемых почвах и имеет атмосферное (поверхностный), стоковый (делювиальный) подпочвенный и пойменный (аллювиальный) типы водного питания. При отсутствии организованного управления эффективным использованием мелиорированных земель природные процессы под давлением природных обстоятельств возвращают все к исходному состоянию.

11.2. Переувлажненные и осушаемые почвы, ландшафтно-генетическая классификация и мелиоративное группирование

Принципы и таксономические уровни ландшафтно-генетической классификации. Для приближения к комплексному мелиоративному группированию периодически переувлажненных почв необходимо рассмотреть особенности морфологического строения, состава и свойств каждой их разновидности. Общая информация помещается в 48 единиц названий, но отличий очень много. Поэтому необходимо сначала выделить отдельные ландшафтно-генетико-морфологические группы периодически переувлажненных почв (далее – ландшафтные группы), а затем в каждой группе предусмотреть разделение на 3–4 иерархических уровня, что позволит проанализировать всю совокупность различий по определенной схеме (табл. 11.2). Исходным материалом для группировки периодически переувлажненных грунтов является номенклатурный список почв [5].

Самой распространенной таксономической единицей классификации является ландшафтно-генетико-морфологическая (сокращенно – ландшафтная) группа. Она отражает принадлежность земельного участка и почвы к определенной ландшафтной зоне, подзоне (иногда и провинции, если она существенно отличается по атмосферной увлажненности), типу ландшафта, условиям дренированности – поверхностной (рельеф) и внутренней (литология, водопроницаемость почвы и породы). Определенное сочетание условий атмосферной увлажненности, рельефа и водопроницаемости имеет в результате определенный тип водного питания и переувлажнения – атмосферного, подпочвенного или смешанного, при определенных гидрогеологических обстоятельствах также почвенно-напорного, а в зависимости от гидрологического режима – делювиально-намывного или пойменного.

Ландшафтные группы минеральных периодически переувлажненных почв могут также различаться по типу (лесные земли, агроландшафты) и виду природопользования (пашня, многолетние насаждения, культурные пастбища и др. в пределах агроландшафтов). Следует отметить, что в приведенной классификации лесные ландшафты в отдельные группы не выделялись, так как лесные мелиорации здесь не рассматриваются.

Таблица 11.2

Схема ландшафтно-генетико-морфологического группирования периодически переувлажненных почв Украины

№ п/п	Содержание таксономической единицы	Показатель, включаемый в название
1	Комплекс природных факторов периодического переувлажнения и условия агрохозяйственного использования (<i>ландшафтные группы ППГ</i>)	Атмосферная увлажненность, природная зона и тип ландшафта, форма рельефа, водопроницаемость почвы, влияние грунтовых вод, вид природопользования, агроландшафты
2	Тип морфологического строения профиля (<i>генетические типы ППГ</i>)	Ключевые слова из названия ландшафтной группы, название мелиоративного типа почвы
3	Морфологическая выраженность переувлаженности в профиле почвы (<i>генетико-морфологические подтипы ППГ</i>)	Название типа и подтипа, фациального подтипа, степень оглеения и глубина оглеенных горизонтов, гранулометрический состав
4	Дополнительные генетико-морфологические признаки, горизонты, физико-химические и литологические различия (<i>роды ППГ</i>)	Родовые генетические, физико-химические, геохимические и литологические признаки (наличие карбонатов, гипса, солей и др.)
5	Видовые признаки почвы, существенные для комплексной мелиорации (<i>виды ППГ</i>)	Видовое название почвы (содержание гумуса и глубина гумусированности и др.)
6	Дополнительные морфологические различия, весомые в мелиоративном комплексе и в агротехнике (<i>подвиды ППГ</i>)	Название подвида, разновидности, разряда (степень выявления родовых признаков, гранулометрический состав, порода и др.)

Каждая ландшафтная группа состоит из нескольких типов почв. Генетические типы минеральных периодически переувлажненных почв выделяются на втором таксономическом уровне и отражают различия генезиса и строения профиля, присущие грунтовым типам, выделяются с учетом их особенностей как мелиоративные типы почв. После выделения типов можно ориентировочно оценить качественный состав мелиоративного комплекса.

На третьем уровне в пределах типов выделяются генетико-морфологические подтипы минеральных периодически переувлажненных почв. Они отражают морфологическую выраженность переувлаженности, и их мелиоративная оценка в наибольшей степени отличает главные черты мелиоративного комплекса, в частности его качественный состав. Для полного определения количественных технологических параметров отдельных составляющих мелиоративного комплекса необходимо учитывать также различия строения и свойств почв, которые воплощаются в выделении мелиоративных родов и подвидов почв (последние три таксономических уровня). Они выделены по признакам таких различий мелиоративного состояния, которые существенно влияют на параметры дренажа, агро-мелиоративных мероприятий, включая химические мелиорации, и особенности состава техники исполнения агротехнических мероприятий (особенности обработки и удобрения, подбор культур для поддержания баланса гумуса, улучшение структурного состояния и др.).

Следует отметить большое разнообразие минеральных периодически переувлажненных почв, что нашло отражение в выделении 12 ландшафтных групп, 38 мелиоративных типов и 168 мелиоративных подтипов. Еще многочисленнее (более 600) их роды, виды и подвиды. Поэтому рассмотрение морфолого-генетической характеристики главных черт мелиоративного состояния и подробная мелиоративная оценка всех различий могут быть выполнены только в пределах отдельных ландшафтных групп, типов и подтипов почв.

При проектировании комплексной мелиорации на отдельном земельном массиве (например, в пределах одного хозяйства) разнообразие почвенного покрова включает от одной до двух-трех, а в отдельных случаях – до четырех-пяти ландшафтных групп (соответственно с возможным количеством типов ландшафта в однообразной по климатическим условиям местности). Однако каждая ландшафтная группа в таких случаях бывает представлена преимущественно одним мелиоративным типом почвы, изредка – двумя.

В рамках типа на одном массиве представлено несколько подтипов, на основе которых формируются отдельные мелиоративные комплексы, которые, в свою очередь, делятся на варианты согласно представленным родам, видам и подвидам почв.

Ландшафтно-генетико-морфологические группы периодически переувлажненных почв.
 Ландшафтно-генетико-морфологические группы – это новое понятие, которое здесь предлагается для упорядочения слишком сложной классификации минеральных периодически переувлажненных почв, как ее высшая таксономическая единица. На основе данных о распространенности ландшафтных групп может быть выполнено почвенно-мелиоративное и природно-мелиоративное районирование территории. На картосхеме почвенно-мелиоративного районирования могут быть выделены области, отвечающие грунтовым зонам, и подзоны, провинции, которые соответствуют определенной степени распространенности ландшафтных групп. Последние выделяются как типы природно-ландшафтной ситуации, обуславливающие формирование различных групп минеральных периодически переувлажненных почв. Названия их komponуются из характеристик атмосферной увлажненности, форм и элементов рельефа, водопроницаемости почвообразующих пород и почв, глубины и режима грунтовых вод (табл. 11.3).

Таблица 11.3

Ландшафтно-генетико-морфологические группы (ландшафтные) периодически переувлажняемых почв Украины

№ п/п	Полное название	Краткое название
1	Экстра влажных предгорно-лесные подзолисто-псевдоглеевые на древнетеррасных и волнисто-увалистых равнинах, а не водопроницаемые, поверхностно переувлажненные, агроландшафты не осушенные	Буро-подзолисто-псевдоглеевые Прикарпатья и Закарпатья
2	Экстрагумидные горные и предгорные буроземно-лесные пологих склонов и их шлейфов, ухудшенно водопроницаемые с поверхностным и смешанным переувлажнением, агроландшафты частично осушены	Буроземы кислые оглеенные горно-лесной зоны и холмисто-предгорного Прикарпатья
3	Экстравлажные подгорные щелочно-буроземные бессточных низменных равнин, слабо водопроницаемые, поверхностного и подпочвенного переувлажнения, плодовые агроландшафты осушенные	Лугово-буроземные глеевые Закарпатской низменности
4	Экстрагумидные горно-предгорные щелочно-буроземные щебнистые, водопроницаемые, с паводковым и грунтовым переувлажнением	Лугово-буроземные оглеенные горные и предгорные
5	Гумидные лесные и влажные лесостепные слабосточных плато и террас, слабоводопроницаемые оподзоленные оглеенные почвы с поверхностным и смешанным переувлажнением, агроландшафты преимущественно осушенные	Дерново-подзолистые и оподзоленные поверхностно оглеенные почвы Западной Лесостепи и Полесья
6	Влажные щелочно-лесные почвы бессточных низменных равнин, водопроницаемых песчаных почв, с подпочвенным переувлажнением. Лучные агроландшафты на осушенных окультуренных почвах	Дерново-подзолистые и серые лесные оглеенные Полесья и Западной Лесостепи
7	Гумидные луговые низменно-пологие, водопроницаемые с подпочвенными и намывным переувлажнением, агроландшафты на осушенных почвах	Дерновые и дерново-карбонатные глинистые почвы Полесья и Западной Лесостепи
8	Гумидно-субгумидные луговые пойменные водопроницаемые паводково-паводковоподпочвенного переувлажнения	Луговые пойменные Полесья и Лесостепи
9	Субгумидные луговые замкнутых понижений, умеренно водопроницаемые грунтово-делювиального переувлажнения	Луговые и щелочно-болотные непоймаемые почвы Лесостепи
10	Гумидно-субгумидные луговые шлейфов склонов, днищ ложин и балок, террас, водопроницаемые с почвенно-делювиальным переувлажнением	Лугово-черноземные, в т.ч. солонцовые и осолоделые Лесостепи и Северной Степи
11	Гумидно-субгумидные луговые мочарные на склонах с выходами водоупорных глин, слабоводопроницаемые мочарные с переувлажнением	Мочаристые и мочарные почвы Лесостепи
12	Засушливо-субаридные степные, ограниченно водопроницаемые с делювиально-намывным и подпочвенным переувлажнением, агроландшафты орошаемые, дренированные	Подовые оглеенные осолоделые Южной и Сухой Степи

Разделение всей большой мелиоративной группы периодически переувлажняемых почв на ландшафтные группы отвечает, в первую очередь, дифференциации влажных и прилегающих субгумидных территорий Украины на климатические сектора и ландшафтные зоны, а в пределах зон отра-

жает подробную ландшафтную дифференциацию, что соответствует различным типам ландшафтов в соответствии с дифференциацией рельефа, растительности, гидрологических условий и литологии почвообразующих пород и самих почв.

Почвы *первых четырех* ландшафтных групп распространены только в буроземно-лесной области, которая в Украине совпадает с горной частью Карпат, и мы ее не характеризуем, поскольку она не входила в предмет исследования.

Пятая группа объединяет почвы агроландшафтов залесенных территорий Полесья и влажной Западной Лесостепи, соответственно с дерново-подзолистыми и серыми лесными оглееными почвами поверхностного и чаще смешанного переувлажнения. Группа включает в себя пять типов, которые по теплообеспеченности достаточно однообразны: на Полесье – умеренно теплые (2200–2400°), в Лесостепи – теплые (2500–2700°).

Шестая группа объединяет почвы бессточных низменных равнин с щелочно-лесными залесенными агроландшафтами в Полесье, с двумя мелиоративными типами – дерново-подзолистыми и серыми лесными преимущественно глинисто-песчаного, реже совмещенного и песчано-легкосуглинистого гранулометрического состава, все они умеренно теплые (2200–2450°).

Седьмая группа включает в себя почвы луговых (не пойменных) низменно-котловинных ландшафтов Полесья и влажной Западной Лесостепи с подпочвенным и намывным переувлажнением. По диапазону теплообеспеченности они аналогичны пятой группе (теплые, умеренно теплые), водопроницаемые, преимущественно гумусные, слабокислые, нейтрально-слабокислые или нейтрально-слабощелочные.

В *восьмую* группу входят четыре типа луговых почв пойменных ландшафтов Полесья и Лесостепи с подпочвенным и паводковым переувлажнением. Фациальные подтипы, отражающие теплообеспеченность, здесь включают широкий ряд – от умеренно теплых до очень теплых (2200–3200°), но наибольшее распространение имеют почвы умеренно теплой фракции Полесья и теплых фракций Лесостепи.

Девятая группа включает в себя почвы луговых и лугово-болотных ландшафтов замкнутых понижений Лесостепи с тремя типами луговыми, лугово-болотными почвами и солодами, фациальные подпитки их однообразные – теплые.

Десятая группа объединяет намытые почвы агроландшафтов шлейфов склонов, днищ лощин и балок с делювиально-намывным переувлажнением.

Почвы *одиннадцатой* группы своеобразные – это вкрапленные в лесостепные ландшафты микроландшафты участков склонов с выходами подземных грунтовых вод. Мочаристые и мочарные почвы весьма разнообразны по генезису (серые, темно-серые, лугово-черноземные оподзоленные, лугово-черноземные солонцеватые, солонцы и др.). По теплообеспеченности они одинаково теплые.

Почвы *двенадцатой группы* выходят за рамки гумидности, и мы их не рассматриваем.

Таким образом, ландшафтная классификация почв охватывает минеральные периодически переувлажненные почвы всех равнинных, горных и предгорных зон и подзон Украины, кроме горного Крыма, где переувлажненность ослаблена из-за общей ксерофильности ландшафтов и их повышенный термический режим.

Генетико-морфологические типы и подтипы переувлажненных почв. Каждая ландшафтная группа минеральных периодически переувлажненных почв представлена несколькими генетическими типами, в которых проявляются характерные черты морфологического строения, влияющие непосредственно или косвенно на мелиоративное состояние почв и должны учитываться в первую очередь при выполнении комплексной мелиоративной оценки, а следовательно, и состав мелиоративных мероприятий комплекса, в частности при обосновании параметров дренажа.

В разных ландшафтных группах могут встречаться генетические типы периодически переувлажненных почв с аналогичными названиями, однако в общей совокупности различий они не объединяются, а разделяются по ландшафтно-групповым (преимущественно зональным или подзональным, зонально-провинциальным) типам. При распределении типов по ландшафтным группами возникает несколько проблем. Некоторые типы почв имеются одновременно в нескольких группах (серые лесные, поверхностно оглеенные).

В номенклатурном списке почв [5] не выделены буро-подзолистые почвы низких террас горных рек, имеющих лучшую внутреннюю дренированность по сравнению с высокими террасами, поскольку у них небольшая глубина суглинистого слоя над галечниками (1,0–1,5 м). Почвы формируются преимущественно из песчано-легкосуглинистых по составу, благодаря чему они развиваются как слабоподзолистые, их можно отнести в отдельную ландшафтную подгруппу. Они отсутствуют в полном номенклатурном списке, но исследованы нами [6].

В целом же, грунтовые типы легко вписываются в ландшафтные группы и на данном таксономическом уровне классификации могут рассматриваться как объекты комплексной мелиорации, их названия еще не вмещают полной информации о строении и свойствах всех различий, однако последняя информация является второстепенной и может быть учтена впоследствии при детализации состава мелиоративного комплекса. Поэтому на данном уровне можно сделать попытку мелиоративной оценки, то есть определить общие черты мелиоративного комплекса.

Для обоснования проекта комплексной мелиорации данных разделения ландшафтных групп на генетические типы недостаточно. Параметры дренажа, глубокого рыхления, способы углубления гумусового слоя, количественные показатели химической мелиорации, способы рассоления определяются по подтипам, родам и видам периодически переувлажненных почв. При выделении различий на этом уровне учитываются, в первую очередь, генетические подтипы почв, но в пределах каждого из них может быть выделено несколько подтипов периодически переувлажненных почв, если они существенно отличаются на уровне дополнительных элементов мелиоративного комплекса или требуют различных количественных параметров для основных элементов.

Распределение периодически переувлажненных почв на подтипы выполнено с учетом действительной комплексно-мелиоративного различия почв. Прежде всего это касается гранулометрического состава аллювиальных и полесских почв. Традиционно в русском и украинском почвоведении гранулометрический состав учитывался на последнем месте в классификационной таксономии. Ошибочность такого подхода, который ярко отражен в отдельных работах [5], привела к тому, что среди почв Полесья гранулометрические составляющие вообще не выделены. Однако в представленной классификации [6] этот показатель приходится учитывать на уровне подтипа.

Природный водный баланс песчаных почв опирался на значительную водоемкость и водоудерживающую способность дерново-гумусного слоя. После его уничтожения способность почвы удерживать влагу в капиллярно-взвешенном состоянии уменьшилась на порядок. Важную роль играл этот слой и в механической защите песчаного грунта от деструктивных природных и антропогенных явлений. Поверхностно и грунтово-переувлажненные почвы в приведенной классификации разделены на высшем уровне (ландшафтные группы). Почвы смешанного увлажнения отнесены к поверхностно переувлажненным.

Второй проблемой, оставшейся в наследство от прошлых времен, являются разные таксономические уровни учета оподзоленности дерново-подзолистых и серых лесных почв: в первых – виды (слабо-, средне- и сильно-подзолистые), во вторых – подтипы (светло-серые, темно-серые). Для углубления гумусового слоя значимость названных отличий похожая, поэтому в классификации слабо-, средне- и сильно-подзолистые почвы разделяются как подтипы.

Всего выделено 168 морфолого-генетических подтипов периодически переувлажненных почв. Одновременное рассмотрение и сравнение такого большого множества объектов невозможно, поэтому их мелиоративную оценку целесообразно выполнять отдельно по ландшафтным группам и в пределах типов периодически переувлажненных почв. Однако при рассмотрении особенностей почвенного покрова отдельного земельного массива количество имеющихся типов, подтипов и родов не превышает шести-восьми.

Грунтовые разновидности низших таксономических уровней (роды, виды, подвиды) минеральных периодически переувлажненных почв многочисленны, только в первом типе насчитывается 22 рода, 56 видов и подвидов. Поэтому их перечень и рассмотрение генетико-морфологических особенностей, характеристику мелиоративного состояния и мелиоративную оценку целесообразно выполнять по отдельным ландшафтным группам и генетическим типам минеральных периодически переувлажненных почв, что и было сделано и опубликовано нами [6].

Большинство подтипов рода выделено по признакам литологических особенностей почвообразовательной подстилаемой породы. Фациальные подтипы также разделены на уровне рода. Следует иметь в виду, что из-за огромного количество отличий четвертого–шестого уровней (они выделялись несколько схематично) генетические типы не исчерпывают фактического разнообразия, которое при анализе реального почвенного покрова может оказаться значительно больше. Такое упрощение оправдано направленностью и задачей этой работы и состоит в необходимости выявить наиболее характерные показатели морфолого-генетического строения и характерные особенности основных почвенных различий, которые воздействуют на позиции мелиоративного состояния и тем самым существенно влияют на мелиоративную оценку.

Приведенных данных вполне достаточно для освещения примененной нами методики мелиоративной оценки и выяснения соотношений между генетическими типами в пределах общего спектра колебаний показателей. В некоторых случаях сравниваемые материалы оказались несколько гро-

моздкими. Еще большая их детализация не имела бы существенных преимуществ, но значительно усложнила бы восприятие материала и его анализ.

Таким образом, подробная характеристика отличий возможна по составлению полной базы данных о минеральных периодически переувлажненных почвах, но такая работа уже имела бы не научно-исследовательский, а справочно-технический характер. Выполнение ее могло бы быть полезным и интересным для мелиораторов, однако для наших исследований она не была необходимой.

При выделении видов и подвидов переувлажненных почв следует учитывать такие признаки, как глубина гумусного слоя, развитость профиля, а для горных почв – толщина слоя мелкозема и общая глубина почвенного профиля, гранулометрический состав верхнего горизонта, степень щебенчатости, содержание гумуса и толщина гумусового профиля и другие признаки, по которым в систематике почв разделяются виды и подвиды. Однако при выделении различий трех последних таксономических рангов произошла определенная интерференция таксономических уровней. В ряде подтипов признаки учитывались, а уровни родов (как это произошло с фациальными подтипами) не определены. Выше уже отмечалось, что родовые (с генетической точки зрения) различия учитывались на уровне подтипов периодически переувлажненных почв с учетом их значимости для мелиоративной оценки, то есть влияния на состав и параметры мелиоративного комплекса.

11.3. Комплексная мелиорация земель и нормативные требования сельскохозяйственных культур к агроэкологическим условиям и режимам водорегулирования

Осушение земель предусматривает пять типов сельскохозяйственных мелиораций, которые, в свою очередь, имеют по несколько подтипов: *водная* (осушительная, осушительно-увлажняющая, оросительная, обводнительная, регулирования наводнения), *земельная* (противоэрозионная – гидротехническая, почвозащитная – агро-мелиорация, ландшафтно-защитная – фитомелиорация, рельефо-конструктивная, культуртехническая, поверхностная, рекультивация), *грунтовая*, *биоторегулирующая*, *климатическая*. Среди водных мелиораций важными, на наш взгляд, являются осушительные и осушительно-увлажняющие, а на минеральных переувлажненных почвах – все их виды.

Биологический императив, который лежит в основе требований к мелиорированным почвам гумидных зон, направлен на обеспечение устойчивого функционирования мелиоративных систем с помощью целостной системы мелиоративных и агротехнических, землеустроительных и других организационно-правовых мероприятий.

Структурные изменения в сельскохозяйственном производстве, приватизация и персонификация земель, появление фермерских хозяйств требуют изменений в направленности и содержании современных научных разработок. Возникла острая необходимость найти новый подход к сельскохозяйственному использованию осушаемых почв. Он заключается в максимальной оптимизации водно-воздушного, физического и биологического режимов почвы с целью полного использования биоклиматического потенциала территории.

Сельскохозяйственное использование мелиорированных земель направлено на получение качественной и конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции и воспроизводство плодородия почв при соблюдении экологических требований к мелиоративным объектам, в частности на рациональное ландшафтное расположение сельскохозяйственных угодий с учетом структуры и топографического размещения элементов геохимического ландшафта.

Принцип ландшафтного расположения заключается в соблюдении согласованности размещения определенных сельскохозяйственных угодий (пашни, многолетних насаждений, сенокосов, пастбищ), а также лесов, прудов и озер, мелиоративных каналов – с элементами геохимического ландшафта, позволяет минимизировать объем и глубину мелиоративных воздействий. Иногда для этого достаточно оставить определенную часть территории в естественном состоянии, в первую очередь, это касается водоемов, которые сохраняют или устраивают в аквальных ландшафтах, природных кормовых угодьях, которые приурочиваются к гетерономным супераквальным ландшафтам. Указанный принцип дает возможность также минимизировать мелиоративные действия.

Основу оптимизации составляет теоретическое и практическое обоснование положений о комплексном регулировании факторов плодородия почвы, главными из которых в условиях избыточного увлажнения являются аэрация, влагообеспеченность, гумусное и структурно-физическое состояние, баланс питательных элементов.

Современное мелиоративное земледелие должно основываться на биолого-экологической основе. Это означает, что в структуре севооборотов на мелиорированных (осушаемых-увлажняемых) землях ведущее место должны занимать много- и однолетние травяные культуры-фитомелиоранты с участием бобовых, пожнивные и послеуборочные культуры, обогащающие почву корневыми остатка-

ми, и находящийся в их составе азот биогенного происхождения должен оказывать значительное положительное влияние на баланс гумуса.

Системный подход к решению проблемы комплексного регулирования водно-воздушного и питательного режимов почвы в условиях функционирования совершенной мелиоративной системы способен обеспечить качественно новый уровень производительности агроландшафтов при одновременном сохранении и воспроизводстве плодородия почвы.

Нами установлено два принципа оптимизации режимов осушаемых почв:

– необходимость применения всесторонней, комплексной мелиорации, состоящий из следующих мер: а) регулирование водно-воздушного режима гидротехническими или агро-мелиоративными средствами; б) улучшение гумуса и структурно-гидрофизического состояния, оптимизация биологического и питательного режимов средствами агро-мелиоративной обработки, химической мелиорации и системы земледелия, направленными на окультуривание почв; в) мелиоративное соблюдение земледельческих растениеводческих технологий оптимизации условий выращивания сельскохозяйственных культур с учетом видовых и сортовых агроэкологических требований;

– непрерывность комплексной мелиорации, которая следует из нового взгляда на нее как на долгосрочный, искусственно сконструированный общий почвенный процесс, направленный на оперативную оптимизацию агроэкологических условий с соблюдением стратегии устойчивого и поступательного повышения плодородия почвы, что возможно в условиях непрерывного контроля и регулирования факторов плодородия.

Следовательно, комплексная мелиорация должна быть многолетним, непрерывно контролируемым и регулируемым процессом, который сопровождается оперативным наблюдением и регулированием основных режимов почвы на основании данных геосистемного природно-мелиоративного и агроэкологического мониторинга. По оперативным данным мониторинга общего почвеннообзавательного процесса и частичных его режимов, можно вмешиваться в их ход, изменяя состав и свойства, параметры плодородия почвы, особенно при орошении или дренаже. Коренного изменения плодородия можно достичь только при непрерывном наблюдением за состоянием почвы и при корректировке направления создания почвенного процесса, что обеспечивает содержание процессов и режимов в рамках, заданных в схеме комплексной мелиорации.

Проведенный нами анализ многолетних исследований показывает, что при нарушении принципа непрерывности прекращается контроль за состоянием геотехнической системы и ее составляющей – мелиорированных почв и возможность контролируемого мелиоративного регулирования агроэкологических условий. Неконтролируемый, стихийный ход общего почвообразующего процесса дальше происходит под влиянием природных факторов, преобразованных предварительными мелиоративными действиями. Как следствие, оставлено на произвол судьбы состояние плодородия, и ход его наращивания в большинстве случаев имеет тенденцию приходить в исходное естественное русло с возвращением негативных черт, присущих переувлажненным землями до мелиорации. В частности, в условиях промывного водного режима и искусственного дренажа происходит обеднение почвы под действием элювиальных процессов, минерализации органического вещества и гумуса. Следствием этого является неизбежное снижение плодородия в естественных условиях, искаженных радикальным, но экологически не взвешенным мелиоративным вмешательством, что может привести к катастрофической деградации всех компонентов геотехнической системы.

Согласно названным принципам комплексную мелиорацию периодически переувлажненных почв можно определить как долгосрочную и непрерывно действующую систему мелиоративных мероприятий (гидротехнических, агро-мелиоративных, агротехнических), что имеет целью организацию искусственно сконструированного непрерывно контролируемого и регулируемого общего процесса почвообразования и соответствующих ему элементарных почвенных процессов и частичных режимов почвы, направленных на поступательное повышение уровня плодородия до достижения эталонно высокого его значения.

Для нормального роста и развития растений необходимы тепло, свет, питательные вещества, вода и воздух. Все эти факторы взаимно незаменимы. Оптимальный водный режим почвы, который определяется требованиями сельскохозяйственных культур, характеризуется следующими показателями: влажностью и аэрацией почвы, режимом глубины залегания уровней грунтовых вод, допустимым сроком затопления почвы и посевов.

Оценка водного режима определяется характером изменения запасов продуктивной влаги корнеобитаемого слоя почвы в течение всего периода вегетации растений.

Верхнюю границу оптимальной влаги принимают ее запасы при наименьше полевой влагоемкости (НВ), а нижнюю – запасы влаги при влажности разрыва капиллярного связи (ВРК 70–75 % НВ).

Однако в зависимости от соотношения капиллярной и некапиллярной пористости и биологических особенностей сельскохозяйственной культуры верхняя и нижняя граница оптимальной влаги корректируется в ту или иную сторону. При этом верхний предел определяется величиной минимальной воздухоемкости, необходимой для нормального роста и развития растений. Для многолетних трав она составляет 18–20 % от полной влагоемкости (ПВ), для пропашных – 20–30 %, то есть верхний предел влажности составляет соответственно 80–82 и 70–80 % ПВ, нижняя граница оптимальной влаги находится на уровне влаги начального увядания растений и соответствует 45–55 % полной влагоемкости в зависимости от состояния пористости почвы, культуры, условий подпочвенного питания (субиригации). Чем больше высота капиллярного поднятия грунтовых вод, тем выше увлажнение активного слоя почвы.

Создание оптимальной влажности и аэрации почвы на осушенных землях в соответствии с биологическими требованиями растений достигается регулировкой уровней грунтовых вод, орошением или их комбинацией. Она меняется от малейшего своего значения перед посевом культур к самому большому – на конец вегетации. На хорошо разложенных и окультуренных торфяниках подпочвенные воды следует поддерживать на более глубоком уровне, чем на недостаточно разложенных и легких почвах. В засушливые периоды вегетации норму осушения уменьшают примерно на 5 см, а во влажные – увеличивают на 10 см от приведенных в таблицах 11.4 и 11.5 данных. В невегетационный период уровень грунтовых вод не должен подниматься выше 50–60 см.

Таблица 11.4

Ориентировочные оптимальные уровни грунтовых вод на окультуренных органогенных почвах гумидных зон Украины, см от поверхности почвы

Культура	Период		
	предпосевная обработка – начало всходов	начало всходов – интенсивный рост растений	интенсивный рост растений – уборка урожая
Многолетние травы, яровые зерновые, лен	50-60	60-75	75-90
Озимые зерновые, редька масличная	50-60	60-80	80-100
Кормовые и столовые свекла, морковь	55-60	65-90	90-120
Картофель, кукуруза на силос	55-65	65-95	95-120
Капуста поздняя	60-70	70-85	90-115

Таблица 11.5

Ориентировочные уровни грунтовых вод на суглинистых и глинистых почвах гумидных зон Украины, см от поверхности почвы

Период вегетации	Пропашные	Злаковые, лен	Многолетние травы
Предпосевной	60-70	50-60	50-60
Посев – всходы	70-80	60-70	60-70
Интенсивный рост – сбор урожая	100-120	80-90	75-85

По этим показателям травы можно разделить на следующие группы: первая – очень чувствительны к затоплению сроком более 5–8 суток (люцерна, клевер луговой, овсяница красная, эспарцет, райграс), вторая – те, которые выдерживают затопление до 12–15 суток (тимофеевка луговая, овсяница луговая, мятлик луговой, клевер розовый), третья – те, которые выдерживают затопление до 18–25 суток (лисохвост луговой, костер безостый, полевица белая, мятлик болотный), четвертая группа – выдерживающие долгосрочное затопление до 30–40 суток (камышевка обычная, бекмания обычная). Наблюдения показали, что затопление весной озимых зерновых культур не допускается. Отвод воды с поверхности почвы в летне-осенний период должен осуществляться для зерновых культур не более 0,5 суток, пропашных – 0,8, многолетних трав – 1,5 суток; из слоя почвы 0–25 см – соответственно 1,2, 1,5 и 3,1 суток; из слоя 0–50 см – 2, 3 и 4 суток.

К каждой типовой системе комплексной мелиорации добавляются научно обоснованные и проверенные в производстве схемы гидромелиорации, специально водорегулирующие поверхностное и глубокое возделывания (агромелиорации), и агротехники, включающей в себя обычные зональные специфические для мелиорированных земель средства земледелия, к тому же земледельческая сущность агромелиоративных мероприятий требует их полной интеграции в систему мелиоративного осушаемого земледелия. Причинно-следственная зависимость этих элементов прослеживается в ряду: природно-ландшафтные условия – гидромелиорации – агромелиорации – мелиоративное земледелие.

Мелиоративное осушаемое земледелие – продуктивное звено всей мелиорации, единственная ее составляющая, которая обеспечивает получение урожая и тесно связана с природной основой мелиорированных агроландшафтов. В агроландшафте почва служит единственным биопродуктивным звеном, через которое осуществляются взаимосвязь и взаимодействие природного, инженерного и агротехнического блоков и основные меры контроля и регулирования в системе комплексной мелиорации. Отношения субъект – объект представлены последовательностями: управление человеком – агротехнический блок – инженерный блок; природный блок – мелиоративная геотехсистема. И так, инженерные и агро-мелиоративные меры должны быть подчинены требованиям агротехнического (земледельческого) блока, последний же в своем функционировании больше всего зависит от природного блока. С развитием мелиоративной освоенности территории развивается система земледелия, совершенствуется и углубляется система мелиорации, усиливается обратное влияние ведущего (продуктивного) ее звена – мелиоративного земледелия – на агро-мелиоративные и гидротехнические подсистемы, которые модернизируются и реконструируются по мере окультуривания почв и роста производительности мелиорированных земель в соответствии с преобладающим направлением аграрного производства. На определенном этапе мелиоративно-хозяйственного освоения территории усиливается влияние мелиорации на окружающую среду, что и представляет собой главный предмет геосистемного (природно-мелиоративного) мониторинга.

Обычная обработка, поверхностные и внутренние грунтовые агро-мелиорации составляют единую систему обработки мелиоративного земледелия на землях, осушаемых дренажем. Отдельно разрабатывается система агро-мелиоративной обработки с включением мероприятий углубления гумусового слоя для периодически переувлажненных земель без осушительной сети.

Самой сложной является комплексная мелиорация дерново-подзолистых и буро-подзолистых оглеенных почв Полесья и Прикарпатья. Она состоит из закрытого дренажа, специальных систем поверхностной и глубокой агро-мелиоративной обработки, системы химической мелиорации, органического и минерального удобрения и основной обработки, направленных на углубление гумусового слоя; подбора культур и технологий выращивания, которые наиболее соответствуют агроэкологическим условиям, предусмотренным проектом комплексной мелиорации. Система направлена на улучшение действия дренажа, оптимальное регулирование водно-воздушного режима корнеобитаемого слоя при одновременном поступательном улучшении его параметров плодородия и, в частности, водно-физических свойств и структурно-гидрофизического состояния почвы.

На осушенных минеральных землях подзолистого и оподзоленного видов под влиянием осушения усиливается промывная составляющая водного режима, теряются катионы с дренажным стоком, это вызывает постепенное уменьшение насыщенности почвы основаниями и усиление ее кислотности. На пойменных и других гидроморфных почвах, в частности увлажняемых путем регулирования уровня грунтовых вод, при усиленной минерализации последних возможны карбонатное и натриевое засоление и осолонцевание осушаемых почв (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Поправочные коэффициенты к баллу бонитета осушаемых почв

Показатель	Степень выраженности	Коэффициент
Засоленность и солонцеватость	не засолены	1,00
	слабо засоленные или солонцеватые	0,95
	сильно засоленные	0,65
	солонцы и солончаки	0,10
Кислотно-щелочной баланс	сильно кислые	0,60
	кислые	0,85
	слабокислые	0,95
Карбонатность	нейтральные и слабощелочные	1,00
	карбонатные	0,95
	карбонатные солончаки	0,40
Ожелезнение	неожелезненные и слабоожелезненные	1,00
	сильно ожелезненные	0,80
	железистые болотные и рудяные	0,45
Эродированность (смытость)	не эродированные	1,00
	средне эродированные	0,85
	сильно эродированные выходы пород	0,65

Соответствующую совокупность мелиоративных и агротехнических воздействий можно обозначить как агроэкологическую оптимизацию свойств грунта, его режимов и процессов. Количественным выражением степени такой оптимизации может служить изменение бонитеа в процентах от регионального эталона. Качественно же можно оценивать степень комплексности мелиоративных мероприятий по отношению количества урегулированных факторов плодородия до их необходимого общего количества.

При определении сравнительного уровня плодородия осушаемых почв вводятся поправки к их оценочному баллу с учетом названных почв в севооборотах.

11.4. Влияние осушительных мелиораций и сельскохозяйственного использования на трансформацию органогенных почв

11.4.1. Природные условия торфонакопления, объекты исследований и их краткая характеристика. Научный подход к решению проблем мелиорации болот требует всестороннего их изучения, поскольку по характеру растительного покрова, строению торфяников и свойствам торфяника представляет собой важные местные природные ресурсы. Сначала он использовался преимущественно как топливо и, по мнению А. Д. Брудастова, представлял собой топливо из плотно слежавшихся болотных растений, корней и мха [7].

Главным условием сельскохозяйственного освоения болот, как известно, является их осушение. И вполне понятно, что уже под влиянием только одного осушения проходят значительные изменения основных свойств почвы. В порах верхних слоев почвы под влиянием осушения значительно повышается аэрация, начинают свою деятельность аэробные микроорганизмы, меняется питательный режим для растений, а вместе с ним и состав растительности.

По данным многих исследователей [8, 9, 10], в условиях щелочно-полевого использования торфяников ежегодно и безвозвратно минерализуется в среднем 7–9 т/га торфа. В результате за последние три десятилетия произошло уменьшение торфяных ресурсов в Украине на 120–150 млн т. Кроме того, в Украине для различных нужд, и прежде всего на удобрение, ежегодно добывают до 20 млн т торфа [11].

Таким образом, продолжается бессистемное использование ценных энергетических торфяных ресурсов, что в недалекой перспективе может привести к их полному исчерпанию. Все это требует срочных мер и перехода на экологически выверенную систему рационального использования торфяников.

Уплотнение осушаемых торфяных почв – объективное природное явление, и оно будет продолжаться. Но его темпы можно и нужно максимально замедлять, а сам процесс направлять к постепенному формированию биохимически устойчивых перегнойных почв. Поэтому главной целью регулируемого почвообразования на осушаемых торфяниках является максимальное усиление процессов гумификации торфяной массы, растительных остатков и формирования устойчивого органо-минерального почвенного комплекса.

Многими исследователями [12, 13] установлена тесная корреляционная связь уплотнения торфяной массы с пониженным уровнем грунтовых вод. Значительные потери торфа наблюдаются также от ветровой эрозии. В среднем под пропашными культурами они составляют 2–3 т/га, под зерновыми – 1 т/га, а под многолетними травами ветровой эрозии не наблюдается [14].

При введении севооборотов с длительным луговым периодом степень разложения торфа тоже зависит от уровня грунтовых вод. По данным М. Цюпы [10], ежегодная минерализация торфа под пропашными культурами (картофель, кормовая свекла) составляет 14–16 т/га, а под многолетними травами – в пределах 3–4 т/га в год.

Итак, под травами тоже проходит минерализация торфа, но травы по сравнению с другими культурами почти половину разрушенного торфа компенсируют пожнивными и корневыми остатками. Вызывают беспокойство также непроизводительные потери минерального азота в процессе минерализации торфа через вынесение его дренажными водами и в виде газообразных потерь в воздух.

Складывается противоречивая ситуация, при которой, с одной стороны, происходит интенсивное использование торфяных почв, а с другой – острая экологическая необходимость их сохранения как компонента биосферы играет существенную защитную функцию в сохранении ее равновесия. Исходя из этого возникает необходимость создания системы агроэкологического мониторинга прогнозирования и управления экологическим состоянием и производительностью осушаемых торфяных почв Украины.

Целью исследований было изучение действия осушения и сельскохозяйственного освоения в разном временном цикле на трансформацию торфа, изменение плодородия и производительности

торфяных почв. Для проведения исследований нами были выбраны наиболее характерные для зоны Полесья и Лесостепи торфяные почвы. Это мелиоративные системы «Зурна» и «Ольшанка» в Западном Полесье Ровенской области и болото Замглай в Левобережном низменном Полесье Черниговской области. В лесостепной зоне исследования проводили на осушаемых торфяниках в пойме р. Ромен Сумской области (Левобережная высокая Лесостепь) и в пойме р. Супой Киевской области.

Мелиоративные системы «Зурна» и «Ольшанка» являются болотами низинного типа, которые до начала освоения были покрыты кустарником различной густоты, кочками и перегнившими пнями. Травяной покров состоял преимущественно из разнотравно-осоковой растительности, из разнотравья, в котором в травостое около 20 % составляли хвощ болотный, подмаренник болотный, калужница и лютик ползучий. Злаковая растительность состояла из полевицы, овсяницы красной и мятлика болотного. Осоки в травостое было до 40–50 %. Значительная часть площади была покрыта гипновым мхом. Данные о свойствах торфа приведены в таблице 11.7.

Таблица 11.7

Основные агрохимические свойства торфяных болотных почв мелиоративных систем «Зурна» и «Ольшанка» на начало освоения (1962)

Слой почвы, см	рН КСl	Зольность, %	Степень разложения торфа, %	Органическое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
				% на абсолютно сухое вещество					
Мелиоративная система «Зурна»									
0-20	5,5	6,47	20	98,5	3,51	0,37	0,09	3,27	0,11
20-40	5,4	8,12	25	91,9	3,24	0,85	0,10	3,13	0,07
40-60	5,6	5,25	25	94,8	3,07	1,24	0,04	2,86	0,09
«Мелиоративная система «Ольшанка»									
0-20	5,3	13,81	20	86,2	3,42	0,54	0,11	2,20	0,14
20-40	5,6	9,05	25	90,9	3,12	1,14	0,03	2,42	0,13
40-60	5,7	6,56	25-30	93,4	2,97	0,93	0,06	2,14	0,19

Строительство системы «Зурна» на площади 4870 га было закончено в 1957 г. Осушение проведено сеткой открытых каналов при расстоянии между ними 300 м. Водоприемником системы служит р. Случ. Торф на этой системе осоковый с переходом на глубине 0,5 м в осоково-тростниковый, слабо разложенный. Степень разложения торфа составляет 20–25 %, зольность – от 5,2 до 8,1 %. Значительно меньше по сравнению с минеральными почвами плотность твердой фазы и очень малая объемная масса. Реакция почвенного раствора слабокислая (рН 5,3–5,7 %). Глубина торфа 3–4 м, а непосредственно под опытными участками 3,1 м.

Строительство мелиоративной системы «Ольшанка» закончено в 1959 г. Осушение открытыми каналами при расстоянии между ними 300 м. Общая площадь осушаемых болот составляет 940 га. Водоприемником также служит р. Случ.

Как показывает анализ агрохимических показателей, мелиоративные системы «Зурна» и «Ольшанка» близки между собой по основным свойствам торфяников и типичны для болот Украинского Полесья.

Причинами заболачивания их, как и для большинства болот этой зоны, были:

- неглубокое залегание водоупорных пород и грунтовых вод;
- очень незначительный поверхностный сток в связи со специфическим рельефом местности, неблагоприятным для естественного стока;
- избыточное количество атмосферных осадков.

В течение 1961–1964 гг. на мелиоративных системах «Зурна» и «Ольшанка» проводили полевые и лабораторные опыты по изучению различных способов уничтожения кустарников и первичной обработки, а также изучали систему удобрений в первые годы освоения [15].

Климат района исследований умеренно теплый и влажный. Среднегодовая температура воздуха составляет около + 7 °С. Зимний период длится почти 3,5 месяца и сравнительно мягкий со среднемесячной температурой от –2,5 до –5 °С. Средняя годовая сумма осадков составляет 634 мм. Больше всего их выпадает в летние месяцы. Наблюдаются весенние и осенние заморозки, что не дает возможности культивировать теплолюбивые культуры.

К осушению и проведению мелиоративных работ болота Зурна и Ольшанка использовались преимущественно как пастбища в летние периоды года. Урожайность сена низкого качества не пре-

вышала 15 ц/га. После осушения торфяные почвы начали интенсивно использовать под различные сельскохозяйственные культуры на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений.

На опытных участках, где изучались различные способы уничтожения кустарника и первичной обработки на разных фонах фосфорно-калийных удобрений, выращивали сахарную свеклу, картофель, кукурузу на силос, кормовую свеклу, овес и злаковые многолетние травы.

В зависимости от способов подготовки почвы и фонов удобрения урожайность с 1 га составила: сахарной свеклы 320–343 ц, кормовой свеклы 245–365, картофеля 297–343, кукурузы на зеленую массу 303–326, зерна овса 17,1–22,4 и сена многолетних трав 5,3–6,7 т.

Болото Замглай, по классификации академика Д. К. Зерова, относится к эвтрофным болотам района моренного Полесья, долинного происхождения. С юга оно прилегает к р. Десна, а с севера – к р. Сож. Естественные минеральные повышения и песчаные холмы делят болото Замглай на три основные части: Южный Замглай площадью 3 340 га, Центральный Замглай – 5 878 га и Северный Замглай – 8500 га. Общая площадь болота – 17 718 га, оно низинного типа, торф осокового происхождения. Средняя толщина торфа 2,5–3,0 м, в отдельных местах 9 м. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной, зольность около 20 %. Болото осушено открытыми каналами в 1928–1930 гг. В 1949 г. проведено углубление главного канала на 0,6 м. Болото часто затоплялось весенними водами, преимущественно в апреле на 15–20 дней.

В качестве объекта исследований на болоте Замглай нами было выбрано Буровское опытное поле, которое существует с осени 1926 г., сначала как филиал Рудня-Радовельской исследовательской болотной станции, а с 1932 г. как самостоятельный пункт, с 1935 г. преобразованный в опытное поле. Расположено оно на грани Тупичевска и Репкинского, Розтоки Черниговской области, в южной части Центрального Замглая.

Болото низинного типа, травяно-осоковое. В 1930 г. 50 % его площади было покрыто кустарником березы и ивы, а иногда ольхи. В основном встречались кочки, преимущественно растительного происхождения. Торф средне разложен без остатков древесины, зольность – 1190, реакция почвенного раствора слабощелочная (рН 7,4). Болото не заливное и питается исключительно атмосферными и исходными водами. С юга возле с. Брусилы прилегает к р. Десне, а с севера к р. Сож, притока р. Днепр. В 1949 г. при реконструкции осушительной системы было проведено почвенное обследование болота.

В зоне Лесостепи объектом исследований является болото Ромен в пойме р. Ромен Сумской области, где расположено Сульское опытное поле Института гидротехники и мелиорации УААН. Болото Ромен имеет площадь 12 000 га. Берега реки в районе его расположения обильные, с глубокими балками и оврагами. Дно болота – глинистые после третьего наслоения. Средняя толщина торфа 2,5–3,0 м, максимальная – 7,1 м. Зольность высокая, более 20 %. Много примесей ракушек. Торф слабо разложен. Болото низменное, травяно-осоковое. Из растительности преобладают осоки, в отдельных местах – заросли камыша и зеленых мхов. Среднее количество атмосферных осадков 510 мм. Кроме того, болото питается богатыми исходными водами, что является характерной особенностью почти всех болот Лесостепи.

Сульское опытное поле было организовано как опорный болотный пункт на базе Рудня-Радовельской болотной опытной станции весной в 1932 г. Его работа была сосредоточена на исследовании щелочных почв, тогда еще малоизученных. Расположено опытное поле на болоте г. Ромен, притока р. Сулы возле с. Медвежье, в юго-восточной части Сумской области.

На опытном поле есть участки, на которых осушение и освоение проводили в 1932–1934 гг., 1948 и 1954 гг. Кроме того, есть торфяное болото возле с. Медвежье, которое осушено, но не освоено.

Панфильское опытное поле (позже опытная станция) организовано в 1936 г. в пойме р. Супий лесостепной зоны Киевской области. Торф карбонатный различной мощности подстилается легким суглинком, который богат питательными веществами. Здесь действует осушительно-увлажняющая мелиоративная система, которая периодически реконструировалась. Болото не заливное и питается исключительно атмосферными и исходными водами.

На всех этих участках в свое время были проведены поисковые работы, и по архивным данным (в основном это научные отчеты исследовательских станций) есть возможность установить растительный покров, мощность, плотность торфа, валовые и подвижные формы питательных веществ, зольность, степень разложения торфа к моменту осушения и в первые годы его сельскохозяйственного использования.

11.4.2. Изменение водно-физических свойств органогенных почв под действием антропогенных факторов. Как уже отмечалось, мелиоративные системы «Зурна» и «Ольшанка» построены в 1957–1959 гг. с системой открытых каналов с расстоянием между ними 300 м. В 1978–1979 гг. прове-

ли углубление магистральных каналов и очистку боковой сети, которое до 1992 г. выполнялось регулярно согласно плану ремонтно-эксплуатационных работ управления эксплуатации.

На опытных участках, заложенных в 1962 г., постоянно вели наблюдение за уровнем грунтовых вод и изучением способов их сельскохозяйственного использования. До 1986 г. в болоте, где размещены опытные участки, придерживались кормового севооборота с таким набором культур: 1–4 – многолетние травы, 5 – корнеплоды (кормовая свекла, картофель), 6 – озимая рожь, 7 – кукуруза на силос, 8 – ячмень по летне-осеннему севу многолетних трав.

В дальнейшем осушаемые земли на системе «Ольшанка» использовались бессистемно, а на системе «Зурна» – в основном под многолетними травами и пастбищем.

Уровни грунтовых вод на системах зависели преимущественно от метеорологических условий и колебались в довольно широких пределах – от 38 до 78 см весной и в пределах 110–142 см в летний период на осушительном болоте Зурна и соответственно от 34–69 и до 116 см на болоте Ольшанка.

Анализ исследований показал (табл. 11.8), что коэффициент фильтрации осушаемых торфяников в 0–30 см слое на системе «Зурна» до начала освоения был в пределах 2,1 м/сут, а под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования заметно уменьшился. Уже через 8 лет после освоения он составил 1,6, а через 27 лет – 1,3 м/сут. То же наблюдается и на осушительной системе «Ольшанка», где коэффициент фильтрации уменьшился с 1,9 м/сут в 1962 г. до 0,8 м/сут в 2002 г.

Таблица 11.8

Изменение водно-физических свойств болотно-торфяного грунта в процессе освоения и сельскохозяйственного использования

Слой почвы, см	Мелиоративная система									
	«Зурна»					«Ольшанка»				
	плотность, г/см ³		влагоемкость		К _ф , м/д	плотность, г/см ³		влагоемкость		К _ф , м/д
твердой фазы	почвы	ПВ, %	НВ, % от ПВ	твердой фазы		почвы	ПВ, %	НВ, % от ПВ		
К началу освоения, 1962 г.										
0-10	1,44	0,166	572	71,8	2,2	1,47	0,170	530	75,6	2,1
10-20	1,40	0,149	605	73,8	2,1	1,43	0,165	545	78,4	1,9
20-30	1,40	0,188	656	85,0	1,9	1,41	0,146	618	86,0	1,7
40-60	1,38	0,120	755	93,3	1,9	1,40	0,138	656	91,1	1,8
Через 8 лет после освоения, 1970 г.										
0-10	1,51	0,198	455	62,6	1,6	1,53	0,212	416	69,7	1,4
10-20	1,46	0,189	478	66,4	1,5	1,50	0,204	438	71,3	1,2
20-30	1,44	0,151	596	79,8	1,7	1,47	0,172	524	81,3	1,5
40-60	1,40	0,129	706	67,2	1,9	1,43	0,144	627	89,1	1,7
Через 27 лет после освоения, 1989 г.										
0-10	1,55	0,229	373	54,7	1,2	1,56	0,246	349	58,2	1,1
10-20	1,50	0,221	412	58,9	1,1	1,52	0,238	358	68,4	1,0
20-30	1,47	0,182	495	74,5	1,4	1,48	0,191	478	74,5	1,3
40-60	1,42	0,131	695	81,4	1,6	1,44	0,149	606	86,6	1,5
Через 40 лет после освоения, 2002 г.										
0-10	1,61	0,247	348	52,1	0,9	1,60	0,273	312	54,9	0,8
10-20	1,55	0,234	364	54,2	0,8	1,56	0,265	328	57,2	0,7
20-30	1,48	0,194	465	64,9	1,1	1,53	0,231	369	73,4	0,9
40-60	1,45	0,137	662	95,3	1,4	1,47	0,152	592	80,1	1,7

В слое почвы 40–60 см коэффициент фильтрации за это время изменился довольно мало. К началу освоения он был на системе «Зурна» 1,9, а на системе «Ольшанка» – 1,8 м/сут. Через 40 лет после освоения торфяников он составляет 1,4 м/сут на системе «Зурна» и 1,1 м/сут – на системе «Ольшанка».

Обращает на себя внимание также заметное увеличение плотности и уменьшение полной влагоемкости торфяников под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования. Плотность торфяного грунта на осушительной системе «Зурна» к моменту освоения в слое 0–30 см была в пределах 0,138–0,166 г/см³, а полная влагоемкость – 656–572 %. Через 8 лет после освоения плотность здесь составляла 0,151–0,198 г/см³, а полная влагоемкость – 596–455 %. На мелиоративной системе «Ольшанка» эти показатели соответственно составляли 0,146–0,170 г/см³ и 618–530 %, а через восемь лет освоения – 0,172–0,212 г/см³ и 524–416%. Итак, за первые 8 лет плотность торфа в слое 0–30 см увеличилась на 0,032–0,013 г/см³ на системе «Зурна» и на 0,042–0,026 г/см³ на системе «Ольшанка», а

полная влагоемкость уменьшилась соответственно на 117–60 и 126–94 %. В слое торфа 40–60 см такие изменения были менее заметными. На системе «Зурна» плотность торфа увеличилась от 0,120 до 0,129 г/см³, а на системе «Ольшанка» – от 0,138 до 0,144 г/см³. Полная влагоемкость в этом слое на начало освоения составляла 755 % в системе «Зурна» и 656 % в системе «Ольшанка», а через 8 лет после освоения стала соответственно 706 и 626 %. Подобную зависимость наблюдали и в пойме. Суший на карбонатных торфяниках [9].

В течение последующих лет использования осушаемых торфяников темпы их уплотнения несколько снизились. В слое почвы 0–30 см на болоте Зурна через 27 лет плотность составляла 0,182–0,229 г/см³ и на болоте Ольшанка 0,191–0,246 г/см³, а через 39 лет – соответственно 0,194–0,247 и 0,231–0,273 г/см³. В нижнем слое 40–60 см плотность торфяного грунта увеличилась мало, всего на 0,017 г/см³ на системе «Зурна» и на 0,014 г/см³ на системе «Ольшанка».

За 40 лет сельскохозяйственного использования достаточно заметно уменьшилась полная влагоемкость торфяников. По сравнению с ее величиной до начала освоения она составляла в горизонте 0–30 см на системе «Зурна» 465–348% и на системе «Ольшанка» 369–312%, что на 191–224 и 218–249 % меньше. В слое торфяника 40–60 см эта разница составляет лишь 44 % на системе «Зурна» и 64 % на системе «Ольшанка».

Итак, если рассматривать изменения плотности и полной влагоемкости в разном временном цикле, то видно, что за первые 8 лет плотность торфа на системе «Зурна» в слое 0–10 см увеличилась на 18,5 %, 10–20 см – на 26,8 % и в слое 20–30 см – на 9,4 %, а на системе «Ольшанка» – соответственно по этим слоям торфа на 24,7, 23,6 и 17,8 %.

В слое торфа 40–60 см плотность его возросла на 7,5 % на болоте «Зурна» и на 4,3 % на болоте «Ольшанка». Через 27 лет после освоения плотность торфа по сравнению с предыдущей на системе «Зурна» была больше лишь на 15,6–16,9 %, а в слое 0–30 см только на 2 %. После 40 лет сельскохозяйственного использования уплотнение торфа на системе «Зурна» достигло 7,8–6,6 % в слое 0–30 см и 4,5 % в слое 40–60 см. Аналогичная картина наблюдается на мелиоративной системе «Ольшанка». Здесь плотность почвы через 27 лет после освоения увеличилась в слое 0–20 см на 31–47 %, а через 40 лет – на 58,6–60,6 %, в слое 40–60 см – соответственно на 89 % через 27 лет и на 10,1 % после 40 лет по сравнению с плотностью до начала осушения.

Такие же изменения произошли и в отношении полной влагоемкости торфа, которая уменьшилась в слое 0–30 см за 49 лет на 218–245 % на системе «Ольшанка». Рост плотности торфа, который проходит под влиянием осушения, является основным фактором, от которого зависит уменьшение полной влагоемкости и удельной водоотдачи. Но осушение может быть разным, от понижения УГВ на 20–30 см и до нескольких метров. Различные способы осушения создают неравные условия увлажнения, аэрации, нитрификации и т. д., от чего зависит величина урожайности сельскохозяйственных культур.

Относительно глубины осушения торфяников абсолютное большинство ученых [15, 16, 17] предпочитают умеренное поддержание уровней грунтовых вод согласно периодам роста и развития сельскохозяйственных культур [18, 19].

Регулирование водного режима торфяных болот является очень важным и сложным процессом. Главная его цель – создать оптимальные условия водно-воздушного режима для выращивания сельскохозяйственных культур. Как уже было отмечено, болото Замглай осушалось в 1926–1930 гг. системой открытых каналов при расстоянии между ними 60 м. Исследователь И. М. Доценко (1952 г., научный отчет исследовательского поля) приводит данные о некоторых водно-физических свойствах торфяного грунта Буровского опытного поля (табл. 11.9). Глубина торфяного слоя составляет 2,3 м, плотность почвы в слое 0–20 см – 0,240 г/см³, полная влагоемкость – 355%, а в слое 20–40 см – соответственно 0,178 г/см³ и 506 %.

Таблица 11.9

Изменение основных водно-физических свойств торфяных почв Буровского опытного поля (август 2002 г.)

Слой почвы, см	1952 г.			1982 г.			2002 г.			
	мощность торфа, м	плотность, г/см ³	ПВ, %	плотность, г/см ³		ПВ, %	мощность торфа, м	плотность, г/см ³		ПВ, %
				d	D			d	D	
0-20	2,3	0,240	355	0,268	1,85	318	1,74	0,321	1,88	261
20-40	-	0,178	506	0,216	1,46	408	-	0,284	1,71	301
40-60	-	-	-	-	-	-	-	0,233	1,35	366
60-80	-	-	-	-	-	-	-	0,192	1,31	470

Примечания: ПВ – полная влагоемкость; В – плотность твердой фазы; си – объемная масса почвы.

Через 30 лет (в 1982 г.) на Буровском опытном поле проводилась реконструкция осушительной системы и почвенное обследование, при котором установлено, что в слое торфа 0–20 см плотность равна 0,268 г/см³, полная влагоемкость – 318 %, плотность твердой фазы – 1,85 г/см³, в слое 20–40 см соответственно 0,216 г/см³, 408 % и 1,46 г/см³.

Последняя мощность его за 49 лет уменьшилась на 56 см, или на 24,3 % исходной толщины в 2,3 м. Если экстраполировать в будущее процесс срабатывания торфа по этим цифрам, то потеря торфа в год достигает 1,14 см, соответственно слоя торфа 230 см хватит более чем на 200 лет.

Конечно, такой расчет упрощенный, но он характеризует ориентировочно темпы износа торфяного слоя. В ходе минерализации органическая (основная) часть торфяной массы полностью разлагается, остаточная масса органического вещества приобретает большую минерализацию, разложение и плотность. Однако плотность твердой фазы с 1982–2002 гг. в пахотном слое практически не изменилась, а в слое 20–40 см – заметно возросла. Плотность почвы за 50 лет значительно возросла и в пахотном, и в подпахотном слоях. Наряду с минерализацией потерю массы торфа вызывают также процессы эрозии и дефляции.

В 2001–2002 гг. было проведено почвенно-мелиоративное, геоботаническое и культуртехническое обследование болота Ромен в пределах Сульского исследовательского поля. В точках заложены и описаны грунтовые разрезы, отобраны образцы почвы для анализа и определены водно-физические свойства в слоях 10 см до глубины 80 см. Анализ проведенных исследований показывает, что наибольшая плотность почвы в верхнем (в освоенных почвах – в пахотном) слое. С глубиной ее величина уменьшается и в нижних слоях, плотность наименьшая; довольно значительное ее повышение наблюдается на участке, который находился в культуре с 1932 г.

Влагоемкость почвы на освоенных участках в пахотном слое значительно ниже по сравнению с участками осушенными, но не освоенными. В более глубоких слоях разница несколько нивелируется.

Таким образом, срок и интенсивность освоения торфяных почв влияет на изменение их водно-физических свойств: с увеличением сроков использования возрастает степень разложения, зольность, плотность, уменьшается полная влагоемкость. Необходимо отметить тот факт, что даже на неосвоенном, но осушенном участке со временем происходят заметные изменения водно-физических свойств.

Глубина торфа на этом участке в 1956 г. колебалась в пределах 181–197 см, в среднем 189 см. Обследование, проведенное в 2002 г., показало, что средняя мощность пахотного слоя равна 141 см. Это значит, что даже на неосвоенном болоте толщина торфа за 45 лет уменьшилась на 48 см, что связано, в первую очередь, с уплотнением торфа, а также с его минерализацией. Плотность почвы заметно выросла как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах. Наблюдается существенное уменьшение полной влагоемкости (табл. 11.10).

Таблица 11.10

Влияние продолжительности и интенсивности освоения на плотность и полную влагоемкость торфяного грунта, Сульское опытное поле (2002 г.)

Слой торфа, см	Осушен, не освоен		Орошенный и освоенный					
			в 1932-1934 гг.		в 1949 г.		в 1954 г.	
	D, г/см ³	ПВ, %	D, г/см ³	ПВ, %	D, г/см ³	ПВ, %	D, г/см ³	ПВ, %
0-10	0,248	347	0,351	237	0,342	243	0,233	250
10-20	0,221	397	0,316	264	0,324	258	0,301	279
20-30	0,202	444	0,291	294	0,293	291	0,273	312
30-40	0,196	460	0,280	305	0,269	217	0,241	354
40-50	0,127	717	0,208	426	0,198	455	0,185	488
50-60	0,119	765	0,149	605	0,166	542	0,176	512
60-70	-	-	0,126	722	0,137	662	0,149	605

Из архивных материалов об участках, осушенных в 1932–1934 гг., известно, что к осушению они были покрыты травянистой растительностью, в которой доминировали осока, камыш, хвощ, водяная лилия, водяные травы, болотные злаки, зеленые гипновые мхи и одиночные низкорослые деревья ольхи. Глубина торфа колеблется в пределах 2,3–1,4 м, плотность глубокого торфяника в слое 0–25 см 0,188 г/см³, полная влагоемкость – 497 %, а в неглубоком торфянике эти показатели соответственно 0,196 и 481. В 1946 г. Н. И. Среда и Л. Д. Чаус, в 1956 г. Х. Т. Шкляр, в 1958 г. Ю. Т. Коробченко проводили почвенное обследование болота в пойме р. Ромен (Сульское опытное поле).

Обследование на этих же точках и анализ полученных нами показателей (табл. 11.11) свидетельствуют о том, что за 68 лет использования торфяных почв произошли значительные изменения в

их водно-физических свойствах. Плотность торфа выросла почти вдвое, соответственно уменьшилась полная влагоемкость. На участке, осушенном и начавшем осваиваться с 1949 г., проводили стационарные полевые опыты с изучением влияния способов сельскохозяйственного освоения высокозольных торфяных почв по изменению их плодородия, производительности севооборотов и общих потерь органической массы.

Таблица 11.11

Влияние сельскохозяйственного использования торфяных почв на изменение его свойств, Сульское опытное поле

Слой торфа, см	На начало освоения, 1933 г.		1956 г.		2002 г.	
	плотность, г/см ³	полная влагоемкость, %	плотность, г/см ³	полная влагоемкость, %	плотность, г/см ³	полная влагоемкость, %
0-25	0,188	497	0,305	278	0,348	238
25-50	-	-	0,156	850	0,319	261
50-75	-	-	0,145	623	0,292	292
75-100	-	-	-	-	0,284	301

В опытах изучали 6 севопольных севооборотов с таким набором культур:

- 1) пропашная: картофель – кормовая свекла – кукуруза;
- 2) кормовая, 3 поля многолетних трав – картофель – кормовая свекла, кукуруза – однолетние травы;
- 3) кормовая, 4 поля многолетних трав – картофель – кормовая свекла – однолетние травы;
- 4) кормовая, 5 полей многолетних трав – картофель – однолетние травы;
- 5) кормовая, 6 полей многолетних трав – однолетние травы;
- 6) бессменное выращивание многолетних трав, 7 полей.

Перед закладкой опытов в каждом севообороте был проведен детальный замер глубины торфа методом зондирования. Как видно из проведенных исследований (табл. 11.12), на осушаемых пойменных торфяных почвах Лесостепи из-за систематического использования под посевами пропашных культур мощность торфа ежегодно уменьшалась на 1,4 см, при этом потери органической массы достигают 13 т/га.

Таблица 11.12

Влияние продолжительности использования торфяников и типа севооборота на срабатывание торфа (участок осушен в 1949 г.), Сульское опытное поле (пойма р. Ромен)

Севооборот	Мощность торфа, см			В интервале лет; уменьшение мощности торфа, см			Годовая потеря органической массы, т/га	Продуктивность севооборота, ц/га к.од.
	1969 г.	1984 г.	2002 г.	15	18	за весь период (33 г.)		
Полевая	107-111	81-85	61-67	26	19	45	13,0	75,8
	109	83	64					
Кормовая с четырьмя полями многолетних трав	102-106	86-84	66-76	19	14	33	9,5	70,7
	104	85	71					
Кормовая с шестью полями многолетних трав	123-127	111-113	96-102	13	13	26	4,7	72,3
	125	112	99					
Бессменное выращивание многолетних трав	124-126	113-117	101-107	10	11	21	3,8	70,1
	125	115	104					

Примечание. Над чертой – пределы колебания, под чертой – среднее.

В кормовых севооборотах с 4–6 полями многолетних трав мощность торфа уменьшалась соответственно на 1,03 и 0,8 см в год. Потери органического вещества соответственно составляли 9,5 и 4,7 т/га в год. На поле бессменного выращивания многолетних трав ежегодное уменьшение глубины торфа составило 0,65 см и потери органической массы – 3,8 т/га в год. Следует обратить внимание на тот факт, что по производительности полевые севообороты не имеют существенного преимущества перед кормовыми.

Анализ проведенных наблюдений за изменением физических и агрохимических свойств торфяного грунта (табл. 11.13) на участке, осушенном в 1949 г., показал, что за первые 19 лет после осуше-

ния и в процессе сельскохозяйственного использования плотность торфа в пахотном слое выросла с 0,210 до 0,293 г/см³, а за последующие 14 лет – до 0,352 г/см³. Дальнейший процесс уплотнения почвы замедлялся, и за 10 лет (1963–1992) плотность торфа выросла всего до 0,372 г/см³ и, наконец, за последние 10 лет (1993–2002) достигла значения 0,384 г/см³.

Таблица 11.13

Влияние осушения и сельскохозяйственного использования на физические и агрохимические свойства торфа, Сульское опытное поле

Слой торфа, см	Плотность почвы, г/см ³	Зольность, %	Подвижные формы, мг/100 г почвы		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1950 г.					
0-25	0,210	36,2	32,7	12,0	31,0
1969 г.					
0-30	0,293	39,7	30,2	22,4	37,9
30-50	0,215	27,1	17,4	18,3	24,2
1983 г.					
0-30	0,352	50,9	32,1	25,4	39,1
30-50	0,234	30,4	17,4	17,2	19,4
1993 г.					
0-20	0,372	42,2	28,2	20,4	11,0
20-40	0,241	32,1	17,3	8,2	11,0
2002 г.					
0-20	0,379	46,4	24,6	21,7	12,3
20-40	0,249	135,5	18,4	10,3	9,4

Данных о плотности торфа в подпахотном слое за 1950 г. нет, но за период с 1969 по 1983 год она выросла в слое 30–50 см с 0,215 до 0,234 в 1983 г., до 0,241 в 1993 г. и до 0,249 г/см³ – в 2002 г.

Участок, осушенный и освоенный в 1954 г., представлен мало- и среднемощным торфом. Средняя глубина торфа в 1954 г. составила 86 см, в 1973 г. – 55 и в 2002 г. – 51 см. Таким образом, за первые 19 лет глубина торфа уменьшилась на 31 см (1,63 см в год), за следующие 28 лет – на 4 см (0,14 см за год).

Данные об изменении мощности торфа показывают, что в полевом севообороте, насыщенном пропашными культурами, глубина торфа за 32 года уменьшилась на 45 см, а в кормовых севооборотах с 4 и 6 полями и бессменным выращиванием многолетних трав – соответственно на 33, 26 и 21 см.

11.4.3. Изменение агрохимических характеристик торфяных почв в процессе их освоения и сельскохозяйственного использования. Чтобы дать полную агрохимическую характеристику торфяных почв, необходимо рассматривать их по отдельности, так как показатели агрохимического состояния зависят от многих сочетаний целого ряда факторов. Но для них можно найти и общий показатель, а именно: все торфяные почвы богаты азотом, влагой и очень бедные калием, а некоторые также фосфором и микроэлементами, в частности медью [20, 21].

Проведенный нами анализ агрохимических показателей осушаемых торфяников за многие годы показывает (табл. 11.14), что в торфяных почвах болот Зурна и Ольшанка на начало освоения в слое 0–20 см валовое содержание азота составило 3,42–3,51 %, фосфора – 0,37–0,54, калия – 0,09–0,10 %, в слое 20–40 см – соответственно азота 3,12–3,24 %, фосфора – 0,35–1,14 %, калия – 0,03–0,110 %, а в слое 40–60 см было очень мало калия (0,04–0,06 %). Содержание азота был почти одинаково по всему профилю почвы.

Обращает на себя внимание сравнительно высокое содержание валового фосфора в почве. На мелиоративной системе «Зурна» достаточно заметный рост содержания фосфора по профилю вниз (0,37, 0,85 и 1,24 % по указанным слоям). Примерно такая же характеристика почвы на системе «Ольшанка» (0,54–1,14–0,93 % по тем же горизонтам). Как видим, почвы исследуемых мелиоративных систем лесостепной зоны обеспечены фосфором больше средних величин для торфяных почв Полесья. Подобную характеристику имели карбонатные торфяники, размещенные в Центральной Лесостепи поймы Супий (Панфильская опытная станция), где содержание валовых форм фосфора в пахотном слое может достигать до 0,92 %, а в подпахотном – 0,44 % на сухую навеску [21].

Проведенные на названных системах исследования по изучению темы удобрения в первые годы освоения показали, что внесение фосфорных удобрений под различные сельскохозяйственные культуры в зависимости от доз внесения и способов подготовки почвы повышало урожай в среднем

на 27–51 %, а сами калийные удобрения в 2,1–2,4 раза. Нами установлено (табл. 11.14), что сельскохозяйственное использование торфяников в течение первых 8 лет обусловило увеличение зольности торфа от 5,47 до 8,6 % в слое 0–20 см и от 8,12 до 9,3 % в слое 20–40 см. Увеличилась степень разложения торфа, уменьшилось количество органического вещества, изменилась реакция почвенного раствора.

Заметные изменения торфяного грунта произошли через 27 лет после начала сельскохозяйственного использования. Несколько возросла кислотность почвы, оставаясь в пределах слабой (рН уменьшился от 5,4 до 5,1 в слое 0–20 см и от 5,3 до 5,2 в слое 20–40 см). Зольность выросла вдвое по сравнению с 1970 г. и в три раза по сравнению с началом освоения (1962). Увеличилась также степень разложения торфа и содержание органического вещества.

Если рассматривать изменение основных агрохимических свойств торфа отдельно по мелиоративным системам «Зурна» и «Ольшанка», то видно, что торфяник Ольшанка больше реагирует на осушение и сельскохозяйственное освоение. Так, в слое 0–20 см на системе «Зурна» содержание азота за первые восемь лет выросло с 3,42 до 3,97 %; так же и в слое 20–40 см, где валовое содержание азота выросло на 0,25 %, а на системе «Ольшанка» – на 0,42 %.

Итак, если проследить за изменениями основных агрохимических свойств торфа на указанных мелиоративных системах при их использовании после осушения через 8, 27 и 40 лет, то видно, что в слое 0–40 см зольность выросла почти втрое, а кислотность и степень разложения несколько меньше.

Минерализация органического вещества торфа и внесение минеральных удобрений достаточно заметно способствовали увеличению содержания валового фосфора. На системе «Зурна» в слое 0–20 см в начале освоения содержание валового фосфора составил 0,37 %, в 1970 – 0,84, в 1989 г. – 0,91, а в 2002 г. – 0,96 %, то есть в 2,1 и 2,6 раза больше, чем в начале освоения. В нижних слоях торфа такое увеличение содержания валового фосфора было менее выраженным.

Таблица 11.14

Основные агрохимические показатели торфяников болот Зурна и Ольшанка и их изменение в процессе освоения, Сульское опытное поле

Слой почвы, см	рН	Степень разложения, %	Зольность, %	Органическое вещество	% от массы абсолютно сухой почвы				
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
<i>Болото Зурна, 1970 г., 8 лет после освоения</i>									
0-20	5,4		8,6	79,9	3,84	0,39	0,14	2,81	1,32
20-40	5,3	26	9,3	82,7	3,49	0,87	0,18	3,44	2,44
40-60	5,6	25	6,1	90,6	3,19	1,12	0,09	3,08	2,16
<i>Болото Ольшанка, 1970 г.</i>									
0-20	5,2	25	14,8	79,4	3,97	0,84	0,17	2,04	1,72
20-40	5,4	25	12,4	83,0	3,52	0,93	0,06	2,55	1,87
40-60	5,7	32	6,6	89,7	3,12	12,16	0,09	2,47	3,16
<i>Болото Зурна, 1989 г.</i>									
0-20	5,3	32	13,3	74,6	3,81	0,91	0,21	2,75	1,21
20-40	5,3	30	11,7	78,5	3,76	0,96	0,1-0	3,56	2,56
40-60	5,5	26	8,9	88,1	3,57	1,22	0,08	3,27	2,44
<i>Болото Ольшанка, 1989 г.</i>									
0-20	5,1	33	18,8	72,1	3,86	1,11	0,19	1,87	1,57
20-40	5,2	27	16,2	75,6	3,80	0,95	0,08	2,64	1,92
40-60	5,6	32	10,7	86,4	3,49	1,31	0,11	2,43	2,11
<i>Болото Зурна, 2002 г.</i>									
0-20	5,2	34	21,4	73,2	3,92	0,96	0,27	2,31	0,41
20-40	5,2	32	18,5	75,8	3,24	1,11	0,223	4,15	0,54
40-60	5,6	28	12,3	86,3	3,76	1,23	0,09	2,10	0,73
<i>Болото Ольшанка, 2002 г.</i>									
0-20	5,2	37	27,1	71,3	3,97	1,13	0,28	1,87	0,32
20-40	5,0	34	23,2	74,5	3,92	0,94	0,20	1,66	0,26
40-60	5,6	34	16,1	86,1	3,87	1,26	0,11	2,16	0,37

На мелиоративной системе «Ольшанка» на время освоения в слое 0–20 см содержание валового фосфора составило 0,54 %, за 8 лет – 0,84, через 27 лет – 1,11 и через 40 лет – 1,13 %, то есть увеличилось в 1,5 раза.

Содержание валового калия в слое почвы 0–20 см в освоении и сельскохозяйственном использовании удваивалось, а в нижних горизонтах такого роста не наблюдается.

С целью выявления агроэкологических изменений торфяных почв под действием сельскохозяйственного использования в различных временных циклах летом 2001 г. нами на Буровском опытном поле был заложен почвенный разрез. Он расположен между каналами 2 и С на расстоянии 1 340 м от дороги, на том месте, где отбирали начальные образцы почвы для анализа в 1949 г. (М. Н. Шевченко), в 1952 г. (И. М. Доценко), в 1982 г. при реконструкции системы и в 1990 г. (В. Кусок).

В условиях вегетационного периода 2001 г. поле было под многолетними злаковыми травами четвертого года использования. Глубина торфяного слоя составляла 174 см.

Морфологическое строение торфяного грунта было такое:

- Тс – 0–4 см – дернина неплотная;
- ТН – 4–27 см – торфяно-перегнойная, темно-серый, сильно разложен, свежий, среднеуплотненный, пронизан корнями растений, переход заметный;
- ТЬ – 27–56 см – торф средне разложившийся, буровато-серый, слегка уплотненный, влажный, встречается корни, переход по степенное;
- ТЗ – 56–101 см и ниже – торф средне- и слабо разложившийся, буровато-серый неплотный, сырой, до 89 см – водонасыщенный, мокрый, остатки осок, тростника и гипновых мхов.

Агрохимические показатели торфяных почв с годами заметно меняются. Реакция почвенного раствора в 1932 г. была нейтрально-слабощелочной (рН водное 7,2), а в 2001 г. – слабокислой – 6,2. В результате минерализации органического вещества и ежегодного внесения минеральных удобрений значительно возрастало содержание подвижных форм фосфора и калия. В 1949 г. в слое 0–20 см содержалось 8 мг подвижного P_2O_5 и 6,4 мг/100 г – K_2O ; в 1982 г. их содержание увеличилось соответственно до 15,5 и 11,1, а в 2001 г. – до 33,6 и 19,4 мг/100 г почвы.

Ценные результаты почвенного обследования торфяников на Буровском опытном поле были получены различными исследованиями. Проведенная нами оценка этих наблюдений за много лет показывает, что агрохимические показатели как по валовому содержанию питательных веществ, так и подвижных форм существенно менялись независимо от способа освоения торфяников. Так, описанные М. Н. Шевченко почвы Буровского опытного поля (табл. 11.15) в 1949 г. имели следующие показатели: глубина торфяного слоя составляла 3,2 м, рН водной вытяжки 7,2; верхний слой почвы (0–27 см) желто-коричневого цвета, пылевидный, хорошо разложен, в сыром состоянии очень мазался, а при сжатии из него выделялась жидкость бурого цвета. Остатков растений-торфообразователей невооруженным глазом почти не было видно.

Слой торфа 27–32 см сохранял свое естественное состояние, не нарушен обработкой; в нем заметны остатки осоки, гипнового мха и тростника. На глубине 32–36 см залегал слой мало разложенного торфа, состоящий из гипнового мха с большим количеством тростника. Гипновый слой лежит на осоковом слое толщиной 3 см, светло-серого цвета, средней степени разложения с большой примесью ракушек. На глубине 39–35 см залегал мало разложенный гипново-тростниково-осоковый слой торфа темно-коричневого цвета, который имел довольно рыхлую структуру. Ниже 95 см залегал слой гипново-осоково-тростникового неразложенного торфа светло-бурого цвета с красноватым оттенком.

Таблица 11.15

Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0–20 см) торфяного грунта Буровского опытного поля (1949 г., М. Н. Шевченко)

Валовое содержание, %							Подвижные формы, мг / 100 г почвы		
N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	Na_2O	N	P_2O_5	K_2O
3,84	0,37	0,21	15,1	1,19	0,13	0,25	9,8	8,3	6,8

По 1952 г. некоторые агрохимические свойства этой почвы приводит исследователь И. М. Доценко, а через 30 лет на Буровском опытном поле проводили реконструкцию осушительной системы и почвенное обследование (табл. 11.16).

Если сравнить данные таблиц 11.15 и 11.16, то видно, что по валовым запасам установить определенную зависимость трудно. Но по сравнению с 1949 г., когда в слое 0–20 см содержание азота составило 3,84 мг/100 г, а в 2001 г. (табл. 11.17) – 2,43 мг/100 г почвы, что свидетельствует об уменьшении запасов азота, содержание подвижных форм азота, наоборот, возросло (19,8–22,4–

26,8–56,8 мг/100 г соответственно в 1949, 1952, 1982 и 2001 г.). То же наблюдалось в слое 20–40 см (1952 г. – 12,7; 1982 г. – 21,1; 2001 г. – 39,2 мг/100 г).

Таблица 11.16

Агрохимическая характеристика торфяного грунта Буровского исследовательского поля, подвижные формы питательных веществ, мг/100 г сухой почвы

Слой торфа, см	1952 г. (И. М. Доценко)				1982 г. (почвенное обследование экспедицией)				
	Зольность, %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Зольность, %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Рe ₂ O ₃
0-20	18,7	22,4	8,7	6,4	31,7	26,8	15,5	11,1	1,39
20-40	12,4	18,7	8,2	4,5	16,4	21,1	13,2	8,2	1,29

По сравнению с 1949 г. в слое почвы 0–20 см содержание фосфора и калия в 2001 г. выявлено в три и в два раза больше. Кроме агрохимических анализов почвы, нами летом 2001 г. было проведено почвенно-мелиоративное, геоботаническое и культуртехническое обследование болота Ромен в пределах Сульского исследовательского поля. Были заложены и описаны грунтовые разрезы, отобраны образцы для анализов по слоям 20 см до глубины 80 см, а также пробы ненарушенного строения для определения водно-физических свойств почвы. Ниже приведены описания четырех грунтовых разрезов.

Таблица 11.17

Агрохимическая характеристика торфяных почв Буровского опытного поля (2001)

Слой торфа, см	Валовое содержание, %			Подвижные формы, мг/100 г			pH _{KCl}	Зольность, %	Степень разложения, %
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
0-20	2,43	0,31	0,24	56,8	26,7	14,8	6,2	37,5	27,2
20-40	2,27	0,29	0,21	39,2	20,4	24,5	6,1	39,4	25,8
40-60	1,86	0,25	0,18	22,4	10,1	11,1	6,2	22,7	17,9
60-80	1,81	0,17	0,09	13,2	17,4	8,4	6,4	20,1	-

Разрез 1: болото осушено и не освоено; растительный покров – осоки, тростник, разнотравье и сорняки.

T1 – 0–6 см – дернина хорошо развита; T – 7–25 см – торфяной средне разложенный, темно-коричневый, свежий, слабо уплотненный, густо переплетенный корнями, переход заметный;

T2 – 27–58 см – торфяной средне-, а внизу слаборазложившийся; темно-коричневый, влажный, слабо разложены остатки осоки и камыша, слабоплотный, переход постепенный;

T3 – 59–100 см – торфяной слабо разложившийся, буровато-коричневый, мокрый.

Грунтовые воды на глубине 52 см. Глубина торфа – 121 см, закипает от HCl с поверхности. Название почвы – торф низинный, средне разложенный, средне глубокий.

Разрез 2 заложен на болоте, которое осушенный и осваивается с 1932 г.

Tси – 0–3 см – дернина, неплотная;

TН – 4–42 см – торфяно-перегнойный, темно-коричневый, свежий, хорошо разложен, слабо уплотнен, переход заметный;

T – 43–78 см – торф средне- и слабо разложившийся, осоково-тростниковый, буровато-коричневый.

Грунтовые воды на глубине 78 см, закипание от HCl с поверхности. Глубина торфа 123 см. Название слоя почвы – торфяной, низменный, сильно разложенный, средне глубокий.

Разрез 3 заложен на болоте, которое осушено и осваивается с 1949 г. Участок используется под сенокос. Травостой состоит из тимофеевки луговой, овсяницы луговая и ежи сборной.

Tси – 0–5 см – дернина плотная;

TН – 6–29 см – торфяно-перегнойная, хорошо разложен, темно-коричневый, свежий, переплетенный корнями растений, переход заметный;

T2 – 30–69 см – сырой, буровато-серый, средне разложен, средне уплотнен, переход постепенный;

T3 – 70–84 см – от сырого до мокрого, буровато-серый, слабо разложенный, переход ясный;

PH1 – 85–92 см – мокрый, коричнево-серый с сизым оттенком, аллювиальный суглинок.

Мощность торфа – 82 см, закипание от HCl бурное с поверхности. Грунтовые воды на глубине 125 см. Название слоя почвы – торфяной, низменный, сильно разложенный, неглубокий.

Разрез 4 заложен на болоте, осушенном и освоенном в 1954 г. Используется под сенокос, травостой, состоит из тимофеевки луговой.

Тс – 0–6 см – хорошо развитая дернина;
 Т1 – 7–30 см – торф средне разложен, темно-коричневый, свежий, рядом переплетенный корнями, с включениями черепашек, слабо уплотнен, переход постепенный;
 Т2 – 31–58 см – темно-коричневый, влажный, корни растений до 38 см, уплотненный, переход постепенный;
 Т3 – 59–76 см – оторфованный суглинок, серо-сизый с ржавыми пятнами, с включением неразложенного тростника, плотный, мокрый;
 Т4 – 77–84 см – серовато-сизый суглинок, мокрый, остатки очерета, ржавые в капли.
 Грунтовые воды на глубине 130 см, глубина торфа – 95 см. Название слоя почвы – торфяной, низменный, средне разложен, неглубокий.

Сравнивая агрохимические характеристики участков различного срока и интенсивности освоения (табл. 11.18), следует отметить, что все они хорошо обеспечены азотом, валовые формы которого колеблются в пределах 2,5–3,5 % в зависимости от слоя почвы. Несколько большее содержание азота в пахотном слое участков 2 и 3, которые осушены и освоены в более ранние периоды.

Таблица 11.18

Агрохимическая характеристика почвы опытных участков Сульского опытного поля (июнь 2002 г.)

№ разреза, год освоения	Слой почвы, см	Валовое содержание, % от массы сухого вещества			Подвижные формы, мг/100г сухого почвы			pH _{KCl}	Зольность, %
		N	P	K	N	P	K		
1, 1932–1936	0-20	2,40	0,33	0,22	4,34	5,8	3,3	6,9	30,1
	20-40	2,31	0,18	0,17	2,15	2,4	7,2	6,4	20,3
	40-60	2,52	0,14	0,08	1,67	2,6	3,5	6,5	18,6
	60-80	3,10	0,09	0,05	-	-	-	-	-
2, 1949	0-20	2,62	0,36	0,44	4,47	11,9	10,3	6,4	42,9
	20-40	2,41	0,39	0,39	3,09	10,7	8,9	6,7	39,6
	40-60	2,71	0,18	0,16	2,46	6,8	8,8	6,2	20,3
	60-80	3,61	0,12	0,09	2,14	10,1	5,6	6,7	16,8
3, 1954	0-20	2,55	0,32	0,35	2,96	9,7	10,3	6,7	43,1
	20-40	2,34	0,29	0,28	3,31	9,2	11,4	6,9	31,4
	40-60	2,69	0,19	0,14	2,82	4,5	9,5	6,4	16,8
	60-80	3,32	0,14	0,12	3,16	5,0	9,1	6,6	21,6
4, 1954	0-20	2,46	0,31	0,33	2,93	6,8	7,3	6,5	32,7
	20-40	2,33	0,24	0,19	2,04	5,3	11,4	6,9	25,8
	40-60	2,52	0,15	0,13	1,54	6,0	7,1	6,7	14,3
	60-80	3,21	0,10	0,10	0,86	4,4	6,1	6,6	15,4

Валовых подвижных форм фосфора и калия значительно меньше на участке 1, осушенной и не освоенной вследствие медленного процесса минерализации. Не вносятся здесь и минеральные удобрения, на других участках прослеживается четкая закономерность: чем раньше осушена и освоена площадь, тем больше растут запасы фосфора и калия.

Зольность торфяных почв опытных участков в его верхних слоях самая большая, и с глубиной ее величина резко уменьшается. Очевидно, это связано с тем, что поверхностные воды откладывали минеральные частицы почвы на пойме во время разлива р. Ромен, и интенсивной минерализацией торфа в верхних слоях.

Наибольшей зольность была в слое 0–20 см и 20–40 см на участке, осушенном и освоенном в 1932–1934 гг., а наименьшая – на болоте, осушенном и не освоенном. Два других участка занимают промежуточное положение. Аналогичное явление наблюдается и по степени разложения торфа.

Реакция почвенного раствора колеблется в пределах pH 6,5–6,8. На первом участке pH верхних слоев ближе к нейтральному 6,8, а на втором реакция слабокислая – pH 6,5. Очевидно, это связано с ежегодным внесением минеральных удобрений, которые подкисляют почвенный раствор.

Итак, срок и интенсивность использования торфяных почв влияют на изменение как агрохимических, так и водно-физических свойств. С увеличением срока использования осушаемых торфяных почв в них повышаются содержание питательных веществ, степень разложения, зольность, плотность и уменьшается полная влагоемкость.

Проведенное обследование торфяных почв в 1956 и 1993 гг. показало, что первый участок имеет глубокие торфяники осокового состава, которые подстилаются аллювиальными глеевыми суглинками. Анализ длительных наблюдений (табл. 11.19) показывает, что в настоящее время в почве выявлено больше валовых форм азота, фосфора и калия, но количество подвижных, наоборот, даже уменьшилось по сравнению с содержанием на начало освоения пойм.

Таблица 11.19

**Влияние осушения торфяного грунта на его агрохимические свойства, участок осушен и не освоен,
Сульское опытное поле**

Слой торфа, см	Зольность, %	рН	Валовое содержание, %			Подвижные формы, мг на 100 г почвы		
			N	P	K	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>1956 г.</i>								
0-25	27,9	7,3	2,26	0,26	0,14	18,0	X1	5,3
25-50	16,1	7,2	2,17	0,34	0,11	10,2	6,9	4,7
50-75	17,7	7,2	2,93	0,31	0,06	4,8	5,3	4,3
<i>1993 г.</i>								
0-25	29,6	6,8	2,43	0,29	0,23	4,21	5,6	3,1
25-50	19,7	6,5	2,28	0,20	0,16	2,07	2,0	6,5
50-75	18,2	6,5	2,56	0,12	0,09	1,51	2,7	4,0
<i>2001 г.</i>								
0-25	30,4	6,7	2,54	0,29	0,27	5,16	5,4	3,6
25-50	21,2	6,5	2,37	0,27	0,14	3,02	3,7	5,7
50-75	18,6	6,5	2,55	0,19	0,11	0,98	1,8	5,0

Второй участок, который осушен в 1932–1934 гг. и к началу освоения был покрыт преимущественно осокой и камышом, имеет глубину торфа 2,3–1,4 м, зольность 31,3–49,0 %, степень разложения торфа 25–35 %. Агрохимическая характеристика участка, по данным Ю. Т. Коробченко в 1958 г., приведена в таблице 11.20.

Таблица 11.20

**Агрохимическая характеристика торфа Сульского исследовательского поля, осушенного в 1932–1934 гг.
(Ю. Т. Коробченко, 1958 г.)**

Почва	Слой торфа, см	рН водное	Состав почвы, %			Валовые формы, %			Подвижные формы, мг на 100 г почвы		
			Перегной	Растительные остатки	Минеральные доли	N	P	K	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Торф глубокий высокозольный	0-15	7,6	50,5	17,5	32,6	2,19	0,37	0,16	35,0	7,9	5,1
	15-30	7,6	51,0	18,0	32,0	2,15	0,43	0,14	24,0	8,2	4,1
Целина	30-40	7,6	59,5	18,9	21,6	2,20	0,40	0,02	18,3	8,6	5,2
	40-60	7,6	77,5	17,0	5,5	3,15	0,33	0,08	6,8	5,7	6,2
Торф глубокий высокозольный (13 лет в культуре)	0-10	7,5	54,0	8,5	37,5	2,56	0,26	0,20	69,3	8,2	8,7
	10-20	7,5	59,0	8,5	32,0	2,10	0,31	0,15	53,6	8,5	2,5
	20-30	7,6	58,0	7,0	35,5	2,23	0,30	0,15	50,3	7,9	3,1
	31-61	7,6	77,0	19,0	4,0	3,09	0,05	0,05	38,4	10,0	-
	61-100	7,6	77,5	19,0	11,5	3,23	0,03	0,03	8,6	6,6	3,4

Исследованиями установлено (табл. 11.21), что в 60 и 68 лет использования торфяных почв произошли значительные изменения их агрохимических свойств. Зольность торфа в верхнем слое 0–20 см выросла почти в 1,5 раза, степень разложения – на 12,7 %. Увеличились запасы валовых форм азота, фосфора и калия в результате внесения минеральных удобрений и минерализации органического вещества торфа. Реакция почвенного раствора со щелочной изменилась на слабокислую. Содержание микроэлементов в этих торфах, по данным И. Н. Красильникова и М. П. Подольки (отчет исследовательского поля), составил (в процентах на абсолютно сухую навеску): Си не более 0,00094; CaCO₃ – 4,5–18,7; SO₄ – не более 0,065; Cl – 0,009–0,150; SuO₂ – 12,8–85,5 % от золы.

Таблица 11.21

Изменения основных агрохимических свойств торфяных почв в процессе освоения (участок № 2)

Слой торфа, см	Зольность, %	Степень разложения %	рН	Валовое содержание			Подвижные формы, мг на 100 г сухой почвы		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>1933 г.</i>									
0-25	31,3	25,0	8,2	2,58	0,21	0,10	21,0	6,3	3,2
<i>1956 г.</i>									
0-25	32,6	31,1	7,5	2,19	0,37	0,16	35,0	7,9	5,1
25-50	20,9	20,9	7,2	2,15	0,43	0,14	24,0	8,2	4,1
50-75	15,5	14,3	6,5	2,20	0,40	0,02	18,3	8,0	6,2
<i>1993 г.</i>									
0-20	44,6	37,2	6,5	2,67	0,39	0,47	4,23	11,0	8,0
20-40	37,9		6,5	2,37	0,37	0,35	4,08	9,1	8,0
40-60			6,4	2,76	0,20	0,15	1,77	5,9	6,7
60-80			6,4	3,58	0,10	0,10	2,63	8,8	6,7
<i>2001 г.</i>									
0-20	46,3	37,7	6,5	2,64	0,38	0,32	5,06	10,6	6,6
20-40	38,5	29,4	6,4	2,47	0,44	0,39	3,4	9,7	6,2
40-60	21,1	-	6,6		0,27	0,19	2,1	5,8	5,1

На участке, который использовался в стационарных полевых опытах, установлено, что зольность торфа в слое 0–20 см выросла с 36,2 % в 1950 г. до 46,4 % в 2001 г., а в слое 20–40 см – соответственно от 27,1 % в 1969 г. до 35,5 % в 2001 г. В отношении подвижных форм можно сказать, что четкой закономерности по годам освоения не наблюдается, но количество фосфора и калия заметно возрастало с 1950 по 1983 год, наличие общего азота в 2001 г. существенно уменьшилось по сравнению с 1950 г. Подобную зависимость наблюдали и на участке 4, где поле было осушено в 1954 г. (табл. 11.22).

Таблица 11.22

Влияние продолжительности использования осушенных торфяников на его агрохимические показатели, опытный участок болота 4 Сульского исследовательского поля

Слой торфа, см	Зольность, %	рН	Валовое содержание,			Подвижные формы,		
			%	на сухую навеску		мг на 100 г почвы		
				N	P	K	NO ₃	P ₂ O ₅
<i>1954 г.</i>								
0-25	20,7	7,3	2,86	0,18	0,16	18,4	9,1	6,0
25-50	16,2	7,2	2,71	0,11	0,07	9,2	7,8	4,7
<i>1993 г.</i>								
0-20	32,3	6,6	2,48	0,30	0,35	2,81	6,9	5,0
20-40	27,0	6,8	2,30	0,22	0,20	1,13	4,9	12,5
<i>2001 г.</i>								
0-20	33,0	6,5	2,41	0,32	0,30	2,76	7,4	6,1
20-40	29,7	6,8	2,34	0,20	0,22	2,11	5,7	9,8

В отношении основных элементов питания растений можно отметить, что содержание их заметно изменилось. Если в 1954 г. валового азота в слое торфа 0–20 см было 2,86 %, а в слое 25–50 см – 2,71 %, то через 39 лет использования, в 1993 г., содержание соответственно составило 2,48 и 2,30, в 2001 г. – 2,41 и 2,34 %. Почти вдвое увеличилось содержание валового фосфора и калия, но значительно уменьшилось содержание подвижных форм азота, в частности его нитратной формы – NO₃. Если в 1954 г. его содержание составляло 18,4 и 9,2 мг, то в 1993 и 2001 гг. – соответственно 2,81–1,13 мг и 2,76–2,11 мг на 100 г почвы. В целом торфяники бедны калием.

Наблюдения показывают, что даже на старопашанных участках, несмотря на ежегодное внесение высоких доз калийных удобрений, эффективность их применения остается достаточно высокой, что имеет разное объяснение. По данным Б. Б. Бельского и И. М. Кулаковской, подвижные формы

калия на торфяных почвах составляют 40–80 % валового запаса, что в целом характеризует состояние калийного режима.

Проведенные нами наблюдения за динамикой различных форм калия в зависимости от продолжительности и интенсивности сельскохозяйственного использования осушаемых торфяных почв показали (табл. 11.23), что содержание калия в исследуемых образцах достаточно низкое и колеблется в пределах 25,6–56,5 мг на 100 г почвы. Больше всего его в почве, которая в культуре более 40 лет. Это объясняется высокими дозами внесения калийных удобрений, а также интенсивной степенью минерализации органического вещества торфа.

Наименьшее количество водорастворимого калия отмечено на участке, который только начали осваивать после осушения, а наибольшую – в почве после сорокалетнего освоения и сельскохозяйственного использования.

Такая же закономерность наблюдается и для обменной формы калия. В то же время необменная форма калия является наименьшей на участке длительного сельскохозяйственного использования, а на неосвоенном и использованном в культуре 9 лет – наибольшая. Если на долю необменного калия на участке длительного использования приходится 9 %, то на начало освоения – 54 %, а неосвоенной области – 56 %. Это говорит о том, что минерализация торфа (его оземление) не способствует закреплению калия коллоидным комплексом в необменную (недоступную) для растений форму, а наоборот, способствует освобождению его из растений-торфообразователей и перевода в подвижные формы, которые становятся легкодоступными для выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Процент доступной формы калия в почве на участке долгосрочного использования достигает 71 %, а на участках в первые годы освоения и под травами со слабой минерализацией торфа подвижные формы калия достигают 25–26 %.

Таким образом, интенсивность сельскохозяйственного производства не ухудшает калийного режима торфяных почв и при научно обоснованных дозах внесения минеральных удобрений здесь можно получать высокие и устойчивые урожаи. Конечно, природные грунтовые запасы калия не могут обеспечить получение ожидаемых высоких урожаев, поэтому необходимо усиленное калийное удобрение.

На слабокультуренных площадях под естественными сенокосами и пастбищами калия в 2–3 раза меньше, чем под пропашными культурами. В противоположность подвижным формам фосфора, сезонная динамика калия достаточно заметна и составляет от 7,3 до 67,4 мг/100 г почвы. Отмечено его снижение в течение вегетации с весны до осени. Гидротермические условия вегетационного периода также влияют на содержание калия в почве. При систематическом внесении калийных удобрений несколько улучшается калийный режим торфяного грунта.

Осушение болот и минеральных, периодически переувлажненных земель, их освоение и длительное сельскохозяйственное использование в определенной степени влияют также на реакцию почвенного раствора. Но это влияние не имеет соответствующей закономерности. В одних случаях изменение реакции почти незаметно в течение длительного времени сельскохозяйственного использования; в других случаях происходит изменение преимущественно от слабощелочной в сторону кислой. По данным динамики реакции почвы на осушительных системах «Зурна» и «Ольшанка» видно, что на начало освоения кислотность в слое почвы 0–20 см равна 5,5–5,3, а в более глубоких – 5,4–5,6. Через 8 и 27 лет после освоения кислотность торфяного грунта почти не изменилась и оставалась в тех же интервалах, в пределах слабой степени кислотности.

Более всего менялась реакция в щелочных торфяниках Лесостепи. Как видно из таблицы 11.21, на начало освоения торфяного болота Сульского исследовательского поля в пойме р. Ромен в 1933 г. реакция почвы в слое 0–25 см составила 8,2, а через 23 года, в 1956 г., уменьшилась до 7,5, через 60 лет, в 1993 г., – до 6,5 и через 70 лет, в 2003 г., – осталась на уровне 6,5. В слое 25–50 см реакция торфяного грунта изменилась от 7,2 в 1956 г. до 6,5 в 1993 г. и до 6,5 в 2003 г. Еще глубже (50–75, 60–80 см) реакция торфа почти не менялась, оставаясь щелочной, что обусловлено карбонатностью и составом грунтовых вод.

Определенный сдвиг почвенного раствора пахотного слоя в сторону подкисления в процессе его освоения и сельскохозяйственного использования вызван двумя причинами: промывкой пахотного слоя атмосферными осадками и выносом кальция и других оснований с дренажными водами и внесением физиологически кислых минеральных удобрений в форме хлоридов и сульфатов.

Обращает на себя внимание тот факт, что даже на участке, который осушен и не осваивался (табл. 11.19), реакция почвенного раствора тоже изменилась – от щелочной до слабокислой. Если в 1956 г. в слое 0–25 см рН равнялся 7,3, то в 1993 г. этот показатель уменьшился до 6,8; в 2001 г. – до 6,7; в слое 25–50 см – соответственно от 7,2 в 1956 г. до 6,5 в 1993 г.

11.4.4. Биологическая активность осушаемых торфяных почвы в зависимости от интенсивности их использования. Исследование биологических процессов, которые происходят в торфяных почвах, является одним из главных методов диагностики их агроэкологического состояния, важным для оценки эффективности системы земледелия и отдельных агротехнических мероприятий при выращивании сельскохозяйственных культур.

Суммарную биологическую активность почвы определяли методом аппликаций из льняной ткани, которую закладывали на определенную глубину, с экспозицией 30 и 60 дней. Суть этого метода заключается в количественном определении интенсивности разложения целлюлозы, которая находится в почве в течение определенного времени. Этот метод дает сравнительно хорошие результаты при оценке интенсивности минерализации при различных агротехнических мероприятиях, применяемых при выращивании сельскохозяйственных культур (способы обработки, удобрения, водный режим и др.).

Существуют различные варианты описанного метода, но лучшим можно считать полевой, который позволяет изучать разложение целлюлозы по грунтовым профилям без копания шурфа. Как видно из данных, приведенных в таблице 11. 23, на интенсивность биологических процессов большое влияние оказывает обработка почвы.

Таблица 11.23

Влияние продолжительности сельскохозяйственного использования на групповой состав калия в торфяных почвах (осушительная система «Зурна»)

Продолжительность освоения	Слой почв, см	Содержание калия, мг на 100 г почвы				% доступного калия от валового	Запасы калия, кг/га
		водорастворимый	обменный	необменный	всего		
1961 г. (начало освоения)	0-30	1,8	6,2	17,6	25,6	25	36
	40-60	4,1	15,9	12,5	32,7	18	42
1970 г. (9 лет в культуре)	0-30	4,6	11,2	20,6	36,4	32	112
	40-60	3,0	8,7	28,1	39,8	24	43
2001 г. (40 лет в культуре)	0-30	9,1	39,4	8,0	56,5	69	389
	40-60	8,7	32,3	3,5	44,5	72	137
Осушен, но не освоен	0-30	2,1	7,7	18,2	28,0	26	69
	40-60	4,4	19,6	12,0	36,0	44	86

Скорость разложения целлюлозы по вспашке по сравнению с дискованием больше. Если по вспашке под озимой рожью процент разложения льняной ткани через месяц после закладки составил 21,6 %, то по дискованию – 19,1 %, а через два месяца – соответственно 28,3 и 23,5 %. Такое же явление наблюдается и через 60 дней после закладки льняной ткани.

Достаточно заметна разница интенсивности разложения целлюлозы при различных обработках торфяного грунта под кукурузой. Здесь через месяц степень разложения ткани с пахоты достигала 59,3 %, а через два месяца – 64,8 %; по поверхностной обработке – соответственно 45,5 % через месяц и 60,1 % через два месяца.

Если анализировать результаты микробиологических процессов под разными сельскохозяйственными культурами, то наиболее замедленный их темп на участке бессменного выращивания многолетних трав (13,7 % – за месяц и 15,9 % – за два месяца). Под многолетними травами 4-го года использования соответствующие показатели составляли 14,7 и 21,6 %, они зависели также от способов подготовки почвы под многолетние травы. Это свидетельствует о том, что введение в севооборот многолетних трав уменьшает темпы разрушения целлюлозы (табл. 11.24) и скорость минерализации органического вещества торфа. Те же показатели под озимой рожью составляли 19,6–21,6 % и под травами 4-го года использования – 14,7–18,9 %.

Приведенные данные подтверждают, что с увеличением в севообороте доли многолетних трав темпы разрушения целлюлозы замедляются, а при выращивании пропашных культур ускоряются.

Однако при использовании методов аппликации следует иметь в виду, что они дают результаты не по темпам минерализации органического вещества торфа, а только о разрушении целлюлозы в почве. В составе органического вещества торфа преобладают более устойчивые, чем целлюлоза, компоненты – гумусовые кислоты, лигнин, остатки, не подвергающиеся гидролизу, в том числе гуминовые, и др. В числе органических веществ, которые формируют гумус, находятся специфические вещества – гумусовые кислоты и их органо-минеральные производные. Они лежат в основе общих характеристик гумусового состояния почв.

Исследованиями установлено, что использование торфяных почв в севообороте усиливает процесс их окультуривания. Меняется соотношение основных составляющих гуминовых веществ в сторону увеличения конденсированных форм – гуминовых и ульминовых кислот. Наибольшее количество их отмечено в травах длительного срока использования (монокультура трав) в севооборотах с полевыми культурами их содержание снижается на 3–8 %.

Таблица 11.24

Темпы разрушения целлюлозы под различными сельскохозяйственными культурами в пахотном слое 0–30 см торфяного грунта (Сарненская исследовательская станция, 2003 г.)

Сельскохозяйственные культуры	Потеря массы ткани, %			
	Через месяц		Через 2 месяца	
	вспашка	дискование	вспашка	дискование
Озимая рожь	21,6	19,1	28,3	23,5
Ячмень	23,2	18,4	39,0	25,4
Кукуруза на силос	59,3	45,5	64,8	60,1
многолетние травы				
4-го года использования	18,9	14,7	21,6	18,7
Монокультура многолетних трав	13,7	13,7	15,9	15,9

Количественной мерой типа гумуса служит отношение содержания углерода гуминовых кислот к содержанию углерода фульвокислот (Сгк : СФК). Из этого видно, что все типы гумуса окультуренных торфяников относят к фульватно-гуматному типу (Сгк : СФК в пределах 0,8–1,2). Интересно, что в пахотном слое 0–30 см этот показатель несколько уменьшается по сравнению с подпахотным, что объясняется повышенной аэрацией первого. Для сравнения можно указать, что в черноземах типичный показатель (Сгк : СФК) также снижен в пахотном слое почвы по сравнению с необрабатываемым подпахотным.

Итак, для торфяных почв, которые используются только под многолетними травами, количественное выражение типа гумуса ниже, чем для севооборотов, где с травами выращиваются пропашные и зерновые культуры.

11.4.5. Миграция биогенных элементов в зависимости от геохимических условий, осушения и использования. По результатам исследований научных учреждений [9, 25] по фоновой гидрохимической ситуации в пределах гумидных зон Украины установлено, что как поверхностные, так и пресные подземные воды имеют минерализацию ниже 1 г/л, причем соли в них преимущественно являются гидрокарбонатно-кальциевыми. Но в зависимости от геоструктурных и геоморфологических особенностей территории могут иметь определенные различия гидрохимического состава.

Например, на Черниговском Полесье в составе воды вторым анионом является преимущественно хлор, а на Волынском Полесье – как хлор, так и сульфат-ион поровну. Среди катионов на Черниговском Полесье содержатся натрий и кальций тоже поровну, а на Волынском преобладают кальций и магний. На Житомирском Полесье в составе воды преобладают кальций и гидрокарбонат-ион, а сульфат-ионы и хлор-ионы, как и натрий с магнием, находятся в малом количестве.

Среди биогенных элементов в водах Полесья меньше содержится калия – до 0,5 мг-экв/л. Соединения азота присутствуют не всегда и не систематически и, как и фосфор, содержатся в количествах ниже предельно допустимых концентраций (ПДК).

Анализируя состав воды дренажного и поверхностного стоков по основным массивам, можно отметить, что только за отдельные периоды с некоторых участков выносятся нормированные вещества в концентрациях, превышающих ПДК [25].

На Сульском опытном поле вода дренажного стока отбиралась на высоко- и среднезольных торфяных почвах под пропашными культурами и многолетними травами с магистрального канала р. Ромен весной, летом и осенью. Исследования показали (табл. 11.25), что в торфяных почвах под пропашными культурами в дренажной воде содержится от 135 до 207 мг/л растворенных веществ. Из почвы под многолетними травами выносятся заметно меньше – 99–114 мг/л. Следует отметить, что подобную закономерность мы наблюдали и в пойме р. Супий (Лесостепь), но со значительно большими показателями [9].

По составу компонентов в дренажной воде и воде магистрального канала преобладает ион гидрокарбоната, кальций, хлор и сульфат-ионы, в меньшей степени магний, натрий, калий, азот и фосфаты. Необходимо обратить внимание на то, что количество фосфатов как в поверхностных, так и в дренажных водах магистрального канала небольшое. Это объясняется их слабой растворимостью, с

одной стороны, и значительным поглощением фосфора органико-минеральными коллоидами, с другой стороны.

Таблица 11.25

Гидрохимический состав дренажных вод и вод магистрального канала (торфяные почвы Сульского исследовательского поля), 2003 г.

Место отбора	Период отбора	Содержание, мг/л													
		pH водное	MH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K	Na	Ca	M _g	Fe	SO	Cl	HCO	SiO	Сумма
Кормовая свекла	Весна	7,3	9,52	0,91	0,25	2,87	3,05	28,01	4,21	0,17	11,82	19,8	112,0	14,51	207,18
	Лето	7,2	1,40	0,06	0,14	1,16	2,96	18,73	3,52	0,07	9,41	15,9	75,68	4,33	133,36
	Осень	7,3	1,82	0,23	0,10	3,37	4,50	19,01	5,22	0,06	18,11	28,7	80,57	4,51	166,21
Многолетние травы	Весна	7,04	0,96	0,08	0,08	1,72	3,45	13,50	4,48	0,18	13,18	9,21	56,70	4,40	168,06
	Лето	7,4	0,50	0,04	0,04	0,23	2,17	11,15	4,07	0,12	12,92	8,50	57,14	2,16	99,17
	Осень	7,1	1,30	0,06	0,06	0,61	4,40	14,71	3,65	0,14	17,95	8,52	62,12	1,28	114,85
Магистральный канал	Весна	7,2	0,06	0,09	0,32	1,47	3,05	26,07	3,64	0,07	12,21	8,49	112,0	0,38	167,85
	Лето	7,4	0,74	0,04	0,35	2,0	3,60	22,66	1,65	0,29	14,62	9,06	82,71	1,70	138,80
	Осень	7,7	0,17	0,02	0,23	1,60	2,50	26,07	1,21	0,09	15,20	7,49	32,90	3,25	141,16

Важно отметить, что вода, которую отобрали из магистрального канала на 500 м ниже впадения дренажных вод с участка, занятого многолетними травами, и на 150 м ниже участка, занятого кормовой свеклой, по своему химизму более стойкая – 167,8 мг/л солей весной, 138,8 – летом и 141,2 мг/л – осенью.

Как уже было рассмотрено ранее, объектом исследований являются также торфяные почвы, как осушенные, так и осушенные, но не освоенные, рядом с почвами, которые осушены и длительное время находятся в сельскохозяйственном использовании. Такие участки находятся в хозяйствах, расположенных рядом с землями Сульского исследовательского поля.

Проведенные наблюдения показали (табл. 11.26), что наиболее сильно вымываются водой гидрокарбонат (HCO₃), кальций, фосфаты, хлориды, азот. Но интересен тот факт, что именно осушение не слишком влияет на увеличение солей в воде и их миграцию. Суммарное количество солей в дренажной воде осушенного и не освоенного болота возрастает по сравнению с неосушенным на 23,1–30,2 % в зависимости от времени года. При этом увеличение наблюдается по всем компонентам, которые определялись. Однако наибольшее влияние на повышение минерализации дренажных вод имеет сельскохозяйственное освоение – вспашка, внесение удобрений, усиленное разложение торфа.

Таблица 11.26

Химический состав грунтовых вод и торфяных почв при различной интенсивности их освоения, Сульское опытное поле, 2003 г.

Период отбора	Содержание, мг/л воды										
	Ca	M _g	K	Na	MH ₄	NO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl	PO ₄	Сумма
<i>Неосушенное торфяное болото</i>											
Весна	18,1	1,3	0,2	2,0	1,2	0,3	59,9	7,7	3,1	0,11	93,8
Лето	16,2	1,9	0,3	1,5	1,х	0,6	37,4	11,2	2,6	0,07	73,8
Осень	21,6	1,6	0,5	1,8	1,5	0,4	40,1	9,2	3,5	0,06	79,3
<i>Осушенное, но не освоенное торфяное болото</i>											
Весна	23,8	2,2	0,5	2,4	2,7	0,4	67,9	13,8	4,7	0,08	115,5
Лето	21,7	1,9	0,5	2,5	1,7	1,6	35,2	22,7	8,2	0,07	96,1
Осень	21,8	1,8	0,5	2,0	0,5	0,2	40,4	9,8	3,5	0,08	-
<i>Осушенный и освоенный торфяник</i>											
Весна	31,2	4,5	7,4	4,4	4,5	2,7	88,5	24,1	14,9	0,16	182,4
Лето	41,4	3,9	3,5	4,9	3,2	0,5	67,8	27,7	22,6	0,10	174,7
Осень	72,3	3,5	2,8		1,1	1,6	74,3	28,8	12,9	0,09	173,3

Дренажная вода из участка, находящегося длительное время в сельскохозяйственном использовании, по содержанию химических компонентов заметно отличается от воды, взятой с неосушенного болота и осушенного, но не освоенного.

Общее содержание солей в дренажной воде с освоенного болота было на 94,4–136,7 % больше, чем на неосушенном участке, и на 23,1–30,3 % больше, чем на осушенной и не освоенной площади. Это значит, что пополнение солей в поверхностных и дренажных водах происходит благодаря сельскохозяйственному освоению и использованию, и в первую очередь благодаря внесению минеральных удобрений и интенсивности использования.

Как уже отмечалось, на торфяниках, занятых многолетними травами, содержание химических элементов в дренажной воде заметно меньше, чем на участке, занятом кормовой свеклой. Полученные данные хорошо согласуются с данными белорусских ученых [26, 27, 28]. Они установили, что количество солей в воде неосушенного болота уменьшается весной (до 65 мг/л), осушенного – до 115 мг/л, осушенного и освоенного – до 177 мг/л, а осенью их содержание соответственно составило 78, 91 и 165 мг/л.

Итак, на основе проведенных исследований, наблюдений, а также анализа литературных источников и архивных материалов, можно сделать следующие выводы:

1. В результате осушения и сельскохозяйственного использования торфяников в них активизируется почвообразующий процесс, который сопровождается изменением их качественных и количественных свойств: растет степень разложения, зольность, плотность, валовые запасы КРК, а водопоглощающая и водоудерживающая способность уменьшается.

Характер и интенсивность изменений свойств торфяных почв зависит от срока пребывания в культуре и способов их использования.

2. Наиболее интенсивно уплотнение торфа (33 % от начального) и срабатывание органической массы (13,1 т/га в год) происходит под пропашными культурами и меньше – под многолетними травами, соответственно 12 % и 3,9 т/га в год. Промежуточное место среди этих показателей занимают торфа, использовавшиеся в торфяных севооборотах с одним или двумя полями пропашных, одним полем однолетних и 4–5 полями многолетних трав (20 % и 4,9 т/га в год).

3. Регулирование почвенных процессов мелиоративными и агротехническими способами с целью сохранения торфяных почв и повышения их плодородия должно стать основой их рационального использования. Изменение агрохимических свойств органогенных почв под влиянием сельскохозяйственного использования интенсивнее в зоне Лесостепи, чем на Полесье.

Литература

1. Костычев П. А. Почвоведение. – М.; Л.: Сельхозиздат, 1940. – 224 с.
2. Сукачев В. М. Болота: их образование, развитие и свойства. – Л.: Гидрометиздат, 1925. – С. 13–32.
3. Зеров Д. К. Болота УРСР, рослинність і стратиграфія. – Київ: Вид-во АН УРСР, 1938. – С. 36–95.
4. Пособие для работников агрохимических лабораторий / под ред. А. В. Петербургского. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 433 с.
5. Костяков А. Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 532 с.
6. Рижук С. М., Тютюнник Д. А. Мінеральні перезволожені ґрунти та їхня комплексна меліорація. – Київ: Аграр. наука, 2003. – 280 с.
7. Брудастов А. Д. Осушение минеральных и болотных земель. – М.: Сельхозиздат, 1955. – 422 с.
8. Вознюк С. Т. Агротехнічна характеристика торф'яних ґрунтів Полісся і Лесостепі України // Земледілля на осушаємих землях. – Київ: Урожай, 1974. – С. 31.
9. Рижук С. М., Слюсар І. Т., Вергунов В. А. Агроекологічні особливості високоефективного використання осушених торф'яних ґрунтів Полісся і Лесостепу. – Київ: Аграр. наука, 2002. – 136 с.
10. Цюпа Н. Г. Минерализация и баланс азота в торфяных почвах Лесостепи УССР при сельскохозяйственном использовании // Земледілля. – 1986. – Вып. 61. – С. 33–37.
11. Стариков Х. М., Мостовой М. М. Вирощування сільськогосподарських культур на осушених землях. – Киев: Урожай, 1969. – 160 с.
12. Зубец В. М., Мурашко А. Й., Шебеко В. Ф. Мелиорация земель, строительство и эксплуатация осушительно-увлажнительных систем // Проблемы Полесся. – 1978. – Вып. 5. – С. 37–44.
13. Маслов Б. С. Справочник: 4.3. Осушение. – М.: Агропромиздат, 1985. – 44 с.
14. Землеробство на осушених землях / П. І. Цюпа, В. С. Бистрицький, І. Т. Слюсар [та ін.]. – Київ: Урожай, 1990. – 183 с.
15. Гімбаржевський В. Р. Культуртехнічні роботи на осушених землях // Вісн. с.-г. науки. – 1971. – № 8. – С. 28–32.
16. Стариков Х. Н. Увлажнение осушаемых торфяников. – М.: Колос, 1977. – 295 с.
17. Янголь А. М. Двухстороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 136 с.

18. Коваленко П. И., Яцык Л. В. Оптимизация уровневых режимов грунтовых вод по системам с двухсторонним регулированием водного режима почв // Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем. – Киев, 1985. – С. 8–17.
19. Барановський В. А. Україна: забруднення природного середовища. – Київ: Укргеодезкартографія, ВПП «Техніка», 1966. – С. 30–39.
20. Троїцький О. В., Проскура С. С. Шляхи сільськогосподарського освоєння заплави р. Супій. – Київ: Держсільгоспвидав УРСР, 1959. – С. 24–27.
21. Шейко М. К. Характеристика торфових ґрунтів // Осушення та освоєння заплавної землі Лісостепу УРСР. – Київ: Урожай, 1964. – С. 6–8.
22. Шматок В. І. Якісні зміни органічної речовини сушених торфоболотних ґрунтів під дією сільськогосподарського використання // Меліорація і водне господарство. – 1994. – Вип. 80. – С. 39–40.
23. Бельский Б. Б. Эффективность минеральных удобрений в зависимости от условий водного режима // Регулирование водного режима торфяных почв. – Минск: Ураджай, 1964. – С. 143–155.
24. Кулаковская И. Н. К вопросу о снижении водного режима на осушенном торфянике и о влиянии этого режима на развитие растительности // Повышение плодородия почв и продуктивности сельского хозяйства при интенсивной химизации. – М., 1983. – С. 124–141.
25. Стариков Х. Н. Увлажнение осушаемых торфяников. – М.: Колос, 1977. – 295 с.
26. Підвищення родючості і охорона осушених земель: довідник / Б. С. Прістер, Р. С. Трускавецький, М. М. Мостовий [та ін.]. – Київ: Урожай, 1993. – 136 с.
27. Скоропанов С. Г. Освоение и использование торфяно-болотных почв. – Минск: Изд-во АН БССР, 1961. – 198 с.
28. Бердніков Г. В. Сільськогосподарське освоєння і використання заплавної осушуваних мінеральних земель Лівобережного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. – Київ, 1987. – 19 с.

Часть вторая. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕЛИОРАЦИЙ

Глава 12. РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

12.1. Режимно-технологические аспекты водорегулирования осушаемых земель

Направленность и степень влияния на природный водный режим при мелиорации чрезмерно увлажненных земель должны отвечать решению главной задачи – созданию за счет реализации гидромелиоративных мероприятий благоприятного режима увлажненности активного корнеобитаемого слоя почвы с соблюдением экологических требований. При регулировании водного режима осушаемых земель имеют место, главным образом, два часто отделенных или периодически изменяемых процесса – осушение и увлажнение, по которым применяются взаимосвязанные, но вместе с тем самостоятельные принципы и приемы проектирования мелиоративных систем по соответствующим техническим решениям.

Для получения наибольшей отдачи от мелиорированных земель на всех стадиях проектирования и эксплуатации систем необходимо как можно полнее учитывать местные условия. Для этого необходимы данные по регулированию водного режима разных типов почв с учетом конкретных климатических, гидрологических, гидрогеологических и других условий.

При мелиорации переувлажненных земель периоды весенних половодий или дождевых паводков являются наиболее опасными при освоении этих земель для использования их в сельскохозяйственном производстве, и гидродинамические методы расчета движения грунтовых вод достаточно характеризуют режим предельно допустимого увлажнения сельскохозяйственных мелиорированных полей в эти хотя и очень ответственные, но сравнительно короткие периоды прохождения половодий и паводков.

Поскольку очерченные вопросы составляют основу осушительных мелиораций, то соответствующие методы выполнения гидродинамических и гидравлических расчетов для определения параметров элементов регулирующей ведущей сети осушительных систем на это время разработаны практически для всех основных почвенно-мелиоративных условий на надлежащем научном уровне, апробированы на практике, довольно широко представлены в соответствующей специальной и нормативно-технической литературе и нами не рассматриваются.

За другой, значительно длительный во времени период вегетации выращиваемых культур на осушаемых землях увлажненность почвы определяется значительно более сложным комплексом факторов, которые вмещают метеорологические, агротехнические, почвенно-мелиоративные и другие местные и технологические условия формирования водного режима.

Из-за значительной стохастической изменчивости гидрометеорологических элементов во внутривегетационном и многолетнем разрезе на осушаемых землях периоды переувлажнения чередуются с периодами недостатка почвенной влаги, поэтому для установления режима увлажнения как основы обоснования технических и технологических решений водорегулирования на эколого-экономической основе нужны детальный анализ и проектирование (путем прогнозирования) водного режима на протяжении периода вегетации.

Этот режим должен определяться и проектироваться на основании детальных расчетов по соответствующим режимным характеристикам допустимых и затратных элементов водного баланса через их изменение на протяжении периода вегетации. Закономерности их изменения, в свою очередь, обусловлены как мелиоративными, так и, более всего, зональными и а зональными факторами общих физико-географических процессов региона, где расположен исследуемый объект [1, 2, 3 и др.].

Необходимо учитывать, что режим влагозапасов как почвы, так и уровня грунтовых вод (УГВ) периода вегетации определяются, как правило, влагообменом на поверхности почвы и в зоне аэрации, т. е. инфильтрацией осадков на пополнение запасов грунтовых вод и восходящим потоком влаги в

выше расположенные слои почвы и в зону испарения от УГВ. На эти процессы накладывается также осушительное действие сети каналов и дрен, но оно в большинстве случаев внутри вегетационного периода сведено к минимуму.

Однако применение такого подхода нуждается в соответствующем всестороннем анализе абсолютно разнородных по своей природе режимных, технологических и технических аспектов водорегулирования осушаемых земель в их взаимосвязи, схематизации и параметризации природно-мелиоративных условий их реализации из-за преобладающего стохастического характера формирования.

Общепризнанно, что водный режим верхнего активного слоя почвы осушаемых земель наравне с климатическими факторами (динамикой и соотношением между осадками и суммарным испарением) определяется также способом его регулирования.

В условиях возникновения периодических дефицитов влаги в корнеобитаемом слое почвы в засушливые периоды вегетации, которые отрицательно влияют на развитие и урожай выращиваемых культур, необходимо предусматривать возможность искусственного увлажнения осушаемых земель. Поэтому в истории развития и практике осушительных мелиораций наравне с осушением почвы традиционно рассматривалось их увлажнение различными способами по соответствующим возможным условиям их применения.

На протяжении последних нескольких десятилетий в связи с усовершенствованием конструкций гидромелиоративных систем (ГМС) на осушаемых землях и повышением требований сельскохозяйственного производства к водному режиму почв для увлажнения осушаемых земель наравне с традиционными – предупредительным и увлажнительным шлюзованием продолжительным подпором уровней воды, начали интенсивно применять орошение дождеванием [3, 35 и др.], появились работы относительно применения циклического режима подпочвенного увлажнения за счет периодического подъема и снижения УГВ [5, 6, 13, 14 и др.].

Общепринято, что на выбор способа водорегулирования определяющее влияние имеют: природно-климатические, рельефные и почвенно-мелиоративные условия; виды и структура посевов сельскохозяйственных культур; тип, конструкция ГМС и ее влагообеспеченность и т. п.

Анализ показывает, что в соответствии с устоявшимися традициями большинство работ, которые посвящены исследованию водного режима и водорегулированию осушаемых земель, проводились, главным образом, в двух направлениях:

1) исследование режима влажности активного корнеобитаемого слоя почвы и зоны аэрации, а также УГВ по различным способам их регулирования с целью определения так называемых *норм осушения* (глубина УГВ, что обеспечивает благоприятный водный режим почвы), которые со временем дифференцировались по видам культур и периодам их развития, видам почв и увлажненности периодов вегетации;

2) разработка типов, конструкций и методов определения и обоснования параметров регулирующей и проводящей сети, необходимых гидротехнических сооружений и устройств как в составе, так и ГМС в целом.

Очевидно, что оба направления тесно взаимосвязаны, поскольку принятие технических решений, которые олицетворяют собой второе направление, основывается на вопросах режимного характера, олицетворяющих собой первое направление.

Но, как бы там ни было, сегодня мы имеем ситуацию, когда вопросы сугубо технического плана (т. е. типы, конструкции, параметры, технологии строительства ГМС и т. п.) разработаны на достаточном научном уровне, довольно широко и надлежащим образом представлены в специальной научно-технической и нормативно-справочной литературе [2, 3, 15, 24, 46, 47 др.].

Вместе с тем вопросы режимного (технологического) характера (способы, схемы, режимы водорегулирования в различных природно-мелиоративных условиях и их влияние на урожай культур и окружающую среду, методы их оценки и прогноза), которые определяют технические и конструктивные решения в мелиоративном производстве, имеют в целом очень обобщенный и практически ограниченный характер, не отвечают современным требованиям относительно их применения и нуждаются в дальнейшем развитии.

Поэтому одним из главных вопросов реализации прогнозно-оптимизационных расчетов на долгосрочной основе являются схематизация и параметризация способов водорегулирования осушаемых земель наравне со схематизацией (типизацией) метеорологических режимов расчетных по влагообеспеченности периодов вегетации, поскольку существующее деление способов водорегулирования имеет достаточно относительный характер из-за того, что в реальных условиях ни один из них, кроме осушения, невозможно реализовать в «чистом виде» на протяжении периода вегетации. То есть в

пределах вегетационного периода система двустороннего действия, например, может работать в режиме осушения в весенний период в начале вегетации выращиваемых сельскохозяйственных культур, когда выпадают интенсивные осадки, или в режиме предупредительного или увлажнительного шлюзования в засушливые периоды летом, что приводит к чередованию соответствующих способов водорегулирования на системе или ее части. При этом тяжело вообще оценить режим работы системы и применяемый способ водорегулирования на протяжении периода вегетации в реальных условиях, а тем более в условиях расчетного по влагообеспеченности периода вегетации. Очевидно, нужно переходить на какие-то усредненные параметры водорегулирования тем или иным способом в соответствующие по расчетной влагообеспеченности периоды вегетации.

На основании обобщения результатов собственных многолетних исследований, данных других авторов, справочных и нормативных источников имеющиеся способы водорегулирования осушаемых земель по принципу их действия и влияния на режим влаги почвы и УГВ, а также с основными техническими характеристиками и параметрами (нормами осушения, элементами техники увлажнения и т. п.) представлены нами в виде следующей совокупности $S = \{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ ($n_s = 6$):

- 1) *осушение*, $s = 1$;
- 2) *предупредительное шлюзование*, $s = 2$;
- 3) *непрерывное увлажнительное шлюзование длительным подпором уровней воды*, $s = 3$;
- 4) *периодическое увлажнительное шлюзование (циклическое подпочвенное увлажнение)*, $s = 4$;
- 5) *орошение дождеванием на фоне осушения*, $s = 5$;
- 6) *орошение дождеванием на фоне предупредительного шлюзования*, $s = 6$.

По результатам исследования способов водорегулирования осушаемых земель были разработаны и рекомендованы производству для реализации элементы техники и режима увлажнения, методики их расчета, а также технологии водорегулирования при предупредительном и **увлажнительном** шлюзовании, применении орошения дождеванием на осушаемых землях [14, 21, 33 и др.].

Нами исследована эффективность применения различных технологий регулирования водного режима почв на мелиорированных землях. В качестве объектов исследований были взяты осушительно-увлажнительные системы (ОУС), расположенные на осушаемых минеральных почвах в Волынской и Житомирской областях, которые являются типичными для зоны Полесья. Они занимают территории площадью 600 га и 300 га соответственно, специализируются на выращивании зерновых культур (рожь, пшеница, ячмень, овес), картофеля, кормовой свеклы, многолетних трав и т. п. Аналогичные расчеты были проведены и в Киевской области.

Полученные результаты позволяют дать обобщенную характеристику исследуемых способов водорегулирования относительно различных по влагообеспеченности периодов вегетации и в целом за многолетие, при этом рассмотрены и статистически оценены параметры режимов УГВ и влажности почв.

Сравнительная характеристика режима УГВ, влажности почвы ($h = 0,5$ м), основных элементов техники полива и составляющих режима увлажнения по соответствующим способам в засушливые периоды вегетации представлены в таблицах 12.1–12.3. В таблицах 12.1 и 12.2 рассмотрены такие статистические параметры исследуемых факторов: X_{min} , X_{max} – размах варьирования фактора соответственно по минимальному и максимальному его значению; (\bar{X}) – средняя величина значений; (S_X) – дисперсия или стандартное отклонение; $(t_{0,5} \cdot S_X)$ – доверительный интервал и ошибки выборочных средних $(S_{\bar{X}})$.

Приведенные в таблицах 12.1 и 12.2 параметры рассмотрены по таким расчетным относительно условий и влагообеспеченности периодам согласно [3939]: $p = 1$ – очень влажный; $p = 2$ – влажный; $p = 3$ – средний; $p = 4$ – сухой; $p = 5$ – очень сухой.

Исследование различных способов водорегулирования (осушение, предупредительное шлюзование, непрерывное увлажнительное шлюзование длительным подпором уровней воды, периодическое увлажнительное шлюзование, орошение дождеванием) мелиорированных земель на упомянутых объектах охватывают достаточно длительное время, проведены в разные по влагообеспеченности периоды вегетации и позволяют получить сравнительную характеристику их эффективности и динамику изменения УГВ.

При проведении подпочвенного увлажнения или осушения необходимо учитывать различные требования выращиваемых сельскохозяйственных растений к водно-воздушному режиму почвы на

различных фенологических стадиях их развития в зависимости от изменений глубины стояния УГВ в период вегетации. Согласно литературным источникам [39 и др.] развитие корневой системы растений на осушаемых землях с учетом динамики УГВ характеризуется данными таблицы 12.4.

Таблица 12.1

Обобщенная статистическая характеристика режимов УГВ по схематизированным природно-мелиоративным условиям

Способы <i>s</i>	Режим УГВ (Hg), м				
	$X_{min} \dots X_{max}$	\bar{X}	S_X	$t_{0,5} \cdot S_X$	$S_{\bar{X}}$
1. Влажные периоды вегетации, $p = \overline{1,2}$					
1	0,80...1,40	1,24	0,37	0,72	0,05
2	0,84...1,30	1,12	0,38	0,74	0,05
3	0,40...1,36	0,97	0,39	0,77	0,06
4	0,38...1,38	0,99	0,53	1,03	0,08
5	0,82...1,44	1,21	0,36	0,70	0,05
6	0,86...1,28	1,11	0,36	0,71	0,05
2. Средние относительно увлажненности периоды вегетации, $p = 3$					
1	0,81...1,46	1,28	0,50	0,96	0,08
2	0,80...1,26	1,18	0,48	0,88	0,08
3	0,78...1,24	1,08	0,42	0,80	0,07
4	0,78...1,26	1,14	0,37	0,72	0,07
5	0,82...1,40	1,25	0,48	0,87	0,07
6	0,78...1,32	1,16	0,46	0,91	0,08
3. Засушливые периоды вегетации, $p = \overline{4,5}$					
1	0,90...1,62	1,40	0,45	0,89	0,07
2	0,80...1,40	1,25	0,43	0,74	0,06
3	0,48...1,30	0,97	0,34	0,67	0,05
4	0,40...1,30	0,99	0,56	0,90	0,08
5	0,88...1,56	1,33	0,43	0,86	0,06
6	0,86...1,38	1,21	0,42	0,72	0,06
4. Среднемноголетние значения					
1	0,84...1,50	1,31	0,42	0,83	0,06
2	0,82...1,34	1,18	0,42	0,76	0,06
3	0,49...1,32	0,99	0,37	0,73	0,06
4	0,45...1,33	1,01	0,52	0,93	0,08
5	0,85...1,49	1,27	0,41	0,79	0,08
6	0,85...1,33	1,16	0,40	0,74	0,06

Во влажные периоды вегетации ($p = \overline{1,2}$) режимы УГВ и влажности активного слоя почвы между исследуемыми вариантами отличаются практически несущественно, так как в таких природно-климатических условиях потребность в дополнительном регулировании водного режима почвы сведена к минимуму – как правило, только к отводу за счет **осушения** ($s = 1$) избыточной гравитационной влаги и поддержания рекомендованных норм УГВ (табл. 12.5).

В средние по увлажненности периоды вегетации ($p = 3$) при работе системы в режиме осушения ($s = 1$) и предупредительного шлюзования ($s = 2$) уровень режим грунтовых вод может находиться в пределах нормы, однако режим влажности почвы ухудшается по сравнению с оптимальным (70–80 % ПВ). При таких условиях появляется нерегулярная потребность в проведении более основательных увлажнительных мероприятий.

И, в конце концов, значительное различие относительно режима УГВ и влажности почвы в исследуемых схемах природно-мелиоративных условий наблюдается в засушливые периоды вегетации ($p = \overline{4,5}$). При этом в условиях работы дренажа только в режиме осушения ($s = 1$) происходит снижение УГВ на системе до 1,4–1,6 м, что значительно превышает нижнюю границу нормы осушения и тем самым снижает режим влажности почвы до критического уровня.

Предупредительное шлюзование ($s = 2$), которое заключается в аккумуляции части воды на спаде весеннего половодья или в периоды выпадения интенсивных атмосферных осадков путем закрытия шлюзов на осушительных каналах проводящей сети ГМС, лишь кое-как сглаживает и, по сути, не решает вопроса поддержания нужного водного режима, а потому является недостаточным в

засушливые периоды вегетации. Оно может быть вспомогательным средством увлажнительного шлюзования, которое представляет собой управление УГВ на системе на протяжении всего периода вегетации при наличии внешних гарантированных источников увлажнения и делится на непрерывное и периодическое.

Таблица 12.2

Обобщенная статистическая характеристика режима влажности почвы (h=0,5 м) по схематизированным природно-мелиоративным условиям

Способы <i>S</i>	Режим влажности почвы (wh), % ПВ				
	$X_{min}...X_{max}$	\bar{X}	S_X	$t_{0,5} \cdot S_X$	$S_{\bar{X}}$
1. Влажные периоды вегетации, $p = 1,2$					
1	50...82	62,4	3,75	7,34	0,56
2	52...83	66,9	3,64	7,12	0,54
3	54...84	71,9	3,43	6,71	0,51
4	56...85	72,9	2,81	5,50	0,42
5	58...83	72,7	2,66	5,26	0,40
6	59...82	71,4	3,54	5,20	0,38
2. Средние относительно увлажненности периоды вегетации, $p = 3$					
1	54...76	51,8	2,88	5,72	0,47
2	55...78	56,5	2,83	5,60	0,44
3	58...80	62,0	2,60	5,24	0,40
4	60...80	66,5	2,15	4,22	0,39
5	58...80	69,3	2,44	4,76	0,45
6	60...80	70,9	2,38	4,67	0,43
3. Засушливые периоды вегетации, $p = 4,5$					
1	30...70	45,2	3,38	6,62	0,50
2	40...74	51,7	2,84	5,96	0,46
3	42...80	61,8	2,63	5,16	0,39
4	48...82	67,1	2,98	5,85	0,44
5	50...80	70,0	2,58	5,02	0,36
6	52...80	70,4	2,52	4,98	0,32
4. Среднегодовое значение					
1	42...76	53,5	3,47	6,80	0,52
2	47...78	58,9	3,18	6,41	0,49
3	49...82	65,9	2,97	5,84	0,44
4	53...83	69,5	2,79	5,47	0,42
5	55...81	71,1	2,59	5,09	0,39
6	56...81	70,9	2,51	5,03	0,36

Непрерывное увлажнительное шлюзование ($s = 3$) осуществляется продолжительным подпором УГВ на системе согласно нормам осушения выращиваемых сельскохозяйственных культур. Его целесообразно проводить по графику изменения УГВ согласно сменным во времени оптимальным их положениям относительно развития и глубины проникновения корневой системы растений в почву (табл. 12.5).

Этот способ позволяет поддерживать УГВ в пределах рекомендованной нормы осушения (0,8–1,2 м) зарегулированием воды, которую подают на подпочвенное увлажнение. Для создания такого режима УГВ на осушаемом участке поливная вода подается через проводящую и регулируемую осушительно-увлажнительную сеть периодически (по потребности) небольшими нормами нетто 200–300 м³/га (табл. 12.3).

При этом:

- оросительная норма брутто изменяется от 300–400 м³/га в средние по влагообеспеченности периоды вегетации при 1 поливе – до 2400 м³/га в засушливые за 2–3 полива продолжительностью каждого от 7 до 20 суток;

- интенсивность подачи воды составляет 0,2–0,6 л/с·га, для чего необходим напор в регулирующей сети 0,5–0,2 м;

- коэффициент полезного действия (к. п. д.) способа – 0,6–0,8.

Тем не менее этот способ увлажнения полностью не обеспечивает необходимого уровня влажности активного слоя почвы в засушливые периоды вегетации.

Таблица 12.3

Основные элементы техники полива осушаемых земель различными способами в засушливые периоды вегетации

Вариант S	Способ увлажнения	Вид почвы	Поливные нормы нетто, м ³ /га	Продолжительность полива, сутки	Количество поливов	Интенсивность подачи воды, л/с*га	Оросительные нормы брутто, м ³ /га	Необходимый напор в регулирующей сети, м	К.п.д. способа
3	Увлажнительное шлюзование длительным подпором уровней воды	<u>мен.</u> торф.	<u>200...900</u> 300...800	7...20	1...3	0,2...0,6	<u>800...2400</u> 600...1800	0,5...0,2	0,6...0,8
4	Увлажнительное шлюзование путем циклического изменения УГВ	<u>мен.</u> торф.	<u>400...800</u> –	12...17	2...4	0,7...1,2	<u>1200...280</u> 0 –	1,0...0,8	0,5...0,7
5	Орошение дождеванием на фоне осушения	<u>мен.</u> торф.	<u>300...350</u> 350...400	3...5	2...5	0,8...1,0	<u>650...1800</u> 650...1600	–	0,8...0,9
6	Орошение дождеванием на фоне предупредительного шлюзования	<u>мен.</u> торф.	<u>250...300</u> 300...350	3...5	1...4	0,7...1,0	<u>300...1200</u> 350...1400	–	0,8...0,9

Примечание. Для циклического увлажнения, в отличие от других способов, фаза подъема УГВ длится 7–10 суток, фаза снижения УГВ (3–7 суток).

Таблица 12.4

Развитие корневой системы растений в зависимости от глубины залегания УГВ в период вегетации

Культуры	УГВ, м	Глубина проникновения корней в почву, м											
		май			июнь			июль			август		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Травы	0,7	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	>0,7	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Озимые зерновые	0,6...0,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	–	–	–
	0,6...1,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	–	–	–
Пропашные	0,6...0,9	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	0,6...1,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Примечание: здесь УГВ: первая цифра – уровень на начало вегетации; вторая – на конец вегетации.

Таблица 12.5

Средние нормы осушения для торфяных и минеральных почв, м

Расчетный период	Торфяные почвы			Минеральные почвы	
	Овощные и технические культуры	Зерновые культуры	Многолетние травы	Овощные, технические и зерновые культуры	Многолетние травы
Посевной	0,65...0,75	0,60...0,70	0,50...0,60	<u>0,60...0,70</u> 0,70...0,80	<u>0,50...0,60</u> 0,60...0,70
Вегетационный	1,00...1,30	0,80...1,10	0,65...0,85	<u>0,80...1,10</u> 1,00...1,30	<u>0,70...0,80</u> 0,80...1,00

Примечание: Относительно минеральных почв в числителе представлены нормы осушения для песчаных и супесчаных, в знаменателе – суглинистых и глинистых почв.

Периодическое увлажнительное шлюзование ($s = 4$), или так называемый циклический режим подпочвенного увлажнения, заключается в неоднократном подъеме и снижении УГВ на системе

в пределах активного слоя почвы зоны аэрации. В случае снижения запаса продуктивной влаги в активном слое почвы до нижней границы, УГВ поднимается до границы слоя почвы 0...0,4 м от поверхности в начальные фазы развития и до 0,7...0,9 м – в конце вегетации выращиваемых культур, с соответствующим снижением его каждый раз к исходному положению согласно норме осушения.

При этом (табл. 12.3):

– скорость подъема УГВ в междуренье во время увлажнения составляет в среднем 6...4 см/сутки, а снижения при сбросе – 8...3 см/сутки;

– продолжительность подъема УГВ – 7–10 суток, сбрасывания – 3–7 суток;

– интенсивность подачи воды на увлажнение при гидростатическом напоре над уровнем дрен 1,0...0,8 м колеблется от 1,2 до 0,7 л/с · га;

– при снижении УГВ средний модуль дренажного стока во время сбрасывания части поливной воды равняется 0,2...0,5 л/с · га;

– поливная норма нетто может составлять от 400 до 800 м³/га.

– с учетом дальнейшего сброса части поливной воды при снижении УГВ (в среднем 30...40 % от поливной нормы) увлажнительная норма нетто за 2–4 цикла увлажнения на протяжении вегетации (в зависимости от его влагообеспеченности) составляет 800...2000 м³/га, брутто – до 3000 тыс. м³/га;

– к. п. д. способа – 0,5...0,7.

При таком режиме подпочвенного увлажнения избыточная поливная вода, которая подается, может быть использована для увлажнения нижерасположенных участков, за счет чего повышается эффективность ее использования.

Этот способ создает лучший (по сравнению с предупредительным и непрерывным увлажнительным шлюзованием) водно-воздушный и тепловой режимы почвы, способствует интенсификации почвенных процессов за счет поддержания достаточного количества влаги и вентиляции зоны аэрации, приводит к самомелиорации солонцовых карбонатных почв.

Однако его применение требует создания высоких напоров в проводящей и регулирующей осушительно-увлажнительной сети, что не всегда возможно или значительно усложняет конструкцию системы, а также требует значительных затрат поливной воды при относительно невысоком КПД ее использования. Поэтому этот способ является технически сложным для реализации в производственных условиях при всех его положительных качествах и целесообразно использовать его как специальное мероприятие.

Обобщенная сравнительная характеристика схематизированных базовых режимов УГВ относительно динамики развития корневой системы выращиваемых сельскохозяйственных культур на осушаемых землях при различных способах водорегулирования в засушливые периоды вегетации приведена на рисунке 12.1.

Наиболее благоприятный водный режим для выращиваемых сельскохозяйственных культур на осушаемых землях в засушливые периоды вегетации можно создать за счет применения **орошения дождеванием**. В отличие от различных режимов подпочвенного увлажнения его применение практически не лимитируется почвенными условиями и рельефом местности в зоне осушительных мелиораций, нуждается в значительно меньших расходах поливной воды (до 2000 м³/га) и является эффективным при выборочных поливах. При этом расходы воды будут на 15...40 % меньше, если дождевание проводится на фоне предупредительного шлюзования ($s = 6$) за счет большей величины подпитывания активного слоя почвы из ниже расположенных грунтовых вод, чем на фоне осушения ($s = 5$) (табл. 12.3). Этот эффект обусловлен соответствующими режимами положения УГВ.

Исследованные экспериментально как поливные, так и увлажнительные нормы (нетто и брутто) при реализации различных технологий увлажнения осушаемых земель не рассматриваются здесь как экономически и экологически оптимальные в соответствии с современными требованиями, в отличие от составляющих водосберегающих режимов увлажнения, разработанных для гумидной зоны Украины, прежде всего в ИВПиМ УААН О. В. Скрипником, М. В. Яциком и сотрудниками [26, 30, 36, 39, 40, 44, 46, 49 и др.]. Но они дают возможность точнее параметризовать и схематизировать имеющиеся технологии водорегулирования осушаемых земель и разработать необходимые расчетные методы с целью дальнейшей их прогнозной оценки и оптимизации в проектах строительства, реконструкции и эксплуатации мелиоративных систем.

Приведенные данные и накопленный опыт проведения увлажнительных мероприятий на осушаемых землях показывают, что с точки зрения поддержания благоприятного водного режима в засушливые периоды вегетации преимущество нужно отдавать возможности применения орошения дождеванием и, где это возможно, увлажнительному шлюзованию. При этом более эффективным

является орошение дождеванием на фоне предупредительного шлюзования ($s = 6$) и циклический режим увлажнительного шлюзования ($s = 4$).

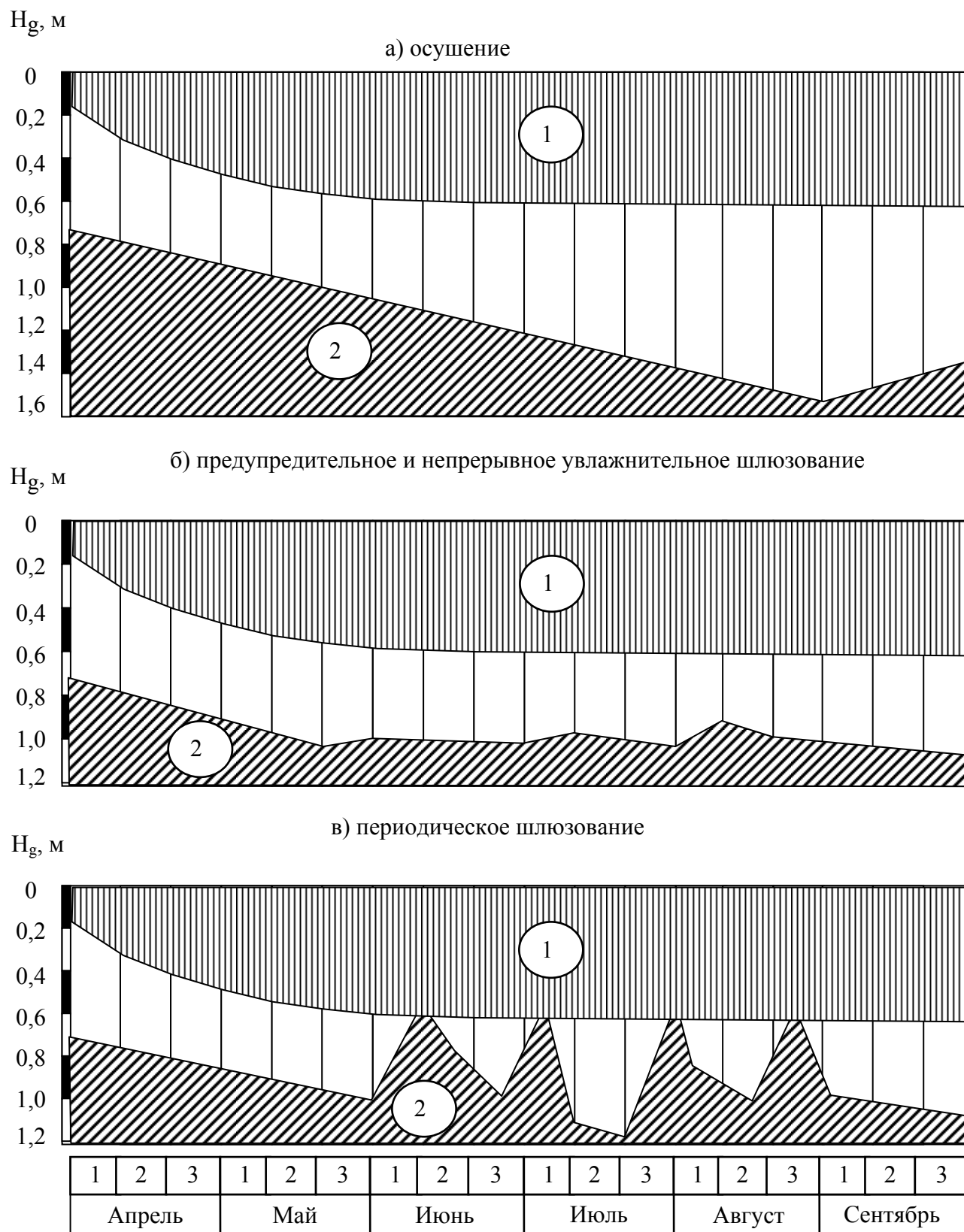


Рис. 12.1. Сравнительная характеристика типичных режимов УГВ при различных способах водорегулирования осушаемых земель в засушливые периоды вегетации:
 1- динамика развития корневой системы растений; 2-динамика УГВ

Однако, с точки зрения реализации рассмотренных способов в производственных условиях, наиболее простыми и практичными для использования оказалась работа системы в режиме осушения ($s = 1$) и предупредительного шлюзования ($s = 2$). Среди способов с увлажнением технологически простым является непрерывное увлажнительное шлюзование длительным подпором уровней воды в регулирующей и проводящей сети системы ($s = 3$). Кроме того, при реализации различных режимов шлюзования очень эффективным оказалось применение средств гидроавтоматики для управления уровнем режимом на системе [22, 26, 31, 34 и др.].

12.2. Конструктивные решения для обеспечения различных технологий водорегулирования осушаемых земель

Выбор и назначение способов (технологий водорегулирования осушаемых земель) в зависимости от природно-агримелиоративных условий реального объекта изначально влияет, в свою очередь, на выбор соответствующей конструкции мелиоративной системы, которая применяется для таких целей. При этом, как показывают практика и накопленный опыт, на осушаемых землях необходимо проектировать и строить более совершенные системы с двойным регулированием водного режима, которые позволяют оперативно отводить излишек влаги в весенний период и подавать воду на увлажнение в соответствующем количестве в засушливые периоды вегетации и тем самым обеспечивать получение проектного уровня урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур, с одной стороны, и экологическую стойкость мелиорированных почв и территорий – с другой [6 и др.]. Это становится чрезвычайно актуальным в условиях изменения климата. Таким образом, технологии (или способы) водорегулирования определяют необходимые конструктивные решения относительно характера регулирующей и проводящей сети, гидротехнических сооружений и т. п., а значит, тип и конструкцию ГМС на осушаемых землях.

Согласно этому они делятся:

- на *осушительные* одностороннего действия;
- *осушительные с предупредительным шлюзованием* как промежуточного типа;
- *осушительно-увлажнительные (ОУС)* с подпочвенным увлажнением и *осушительно-увлажнительные (ОУРС)* с орошением дождеванием как системы двустороннего действия;
- *комбинированные*, когда при проектировании систем промежуточного типа и двустороннего действия часто необходимо совмещать различные способы водорегулирования в пределах одной системы из-за наличия существенных отличий в почвенных и рельефных условиях.

Имеющиеся типы и конструкции ГМС на осушаемых землях, традиционные методы их проектирования и расчета довольно широко представлены в специальной научной, нормативно-технической, справочной и учебно-методической литературе [1, 2, 3, 5, 6, 9, 11 и др.] и, по нашему мнению, в дополнительных комментариях не нуждаются. На сегодня разработаны необходимые типы и конструкции осушительных систем практически для всех основных природных и почвенно-мелиоративных условий, которые являются характерными для зоны достаточного и неустойчивого увлажнения Украины, в том числе Полесья.

Остановимся на основных типах и конструкциях гидромелиоративных систем на осушаемых землях Полесья с учетом основных почвенно-мелиоративных и рельефных условий их проектирования. В зависимости от типов водного питания и причин избыточного увлажнения, а также принятых соответственно методов и способов осушения рассматривают следующие основные конструкции гидромелиоративных систем на осушаемых землях.

Осушительные системы. Осушение – это комплекс мероприятий, направленный на удаление избыточного увлажнения путем влияния на водный режим почв и территорий. Методы осушения зависят от типа водного питания и причин избыточного увлажнения. По обыкновению на одном объекте применяют несколько методов осушения, поскольку есть несколько причин его переувлажнения.

Главной задачей проектирования осушения на землях с развитым микрорельефом является ускоренный отвод поверхностных вод. В состав мероприятий по организации и ускорению отвода поверхностного стока входят: строительство защитной сети, открытых осушителей, водопоглощающих сооружений и закрытых собирателей, выравнивание поверхности и устройство водоотводящих искусственных канав. Водоприемниками для осушительной системы являются реки, каналы, водохранилища или другие водоемы, в которые самотеком или с помощью механического водоподъема отводится избыточная вода.

Магистральный канал является основным элементом осушительной системы. Открытая проводящая сеть предназначена для приема избыточных вод из регулирующей и оградительной сети

и отвода их в водоприемник. При проектировании осушительной системы нужно стремиться к тому, чтобы количество проводящих каналов всех видов и число их порядков были минимальными. Расположение проводящих каналов в плане и в вертикальной плоскости нужно привязывать к рельефу местности, инженерно-геологическим условиям. Трассы элементов проводящей сети прокладываются на болотах, как правило, по низинам минерального дна, а на минеральных заболоченных землях – по низинам рельефа осушаемой площади.

Во время осушения пойменных земель трассы магистральных каналов должны совпадать с направлением движения весеннего потока или быть близким к нему. Трассы коллекторных каналов обычно устраиваются поперек поймы.

Пример проектирования осушительной системы с открытой осушительной сетью приведен на рисунке 12.2. Здесь и в дальнейшем использованы общепринятые обозначения конструктивных элементов гидромелиоративных систем на осушаемых землях [8, 37, 38].

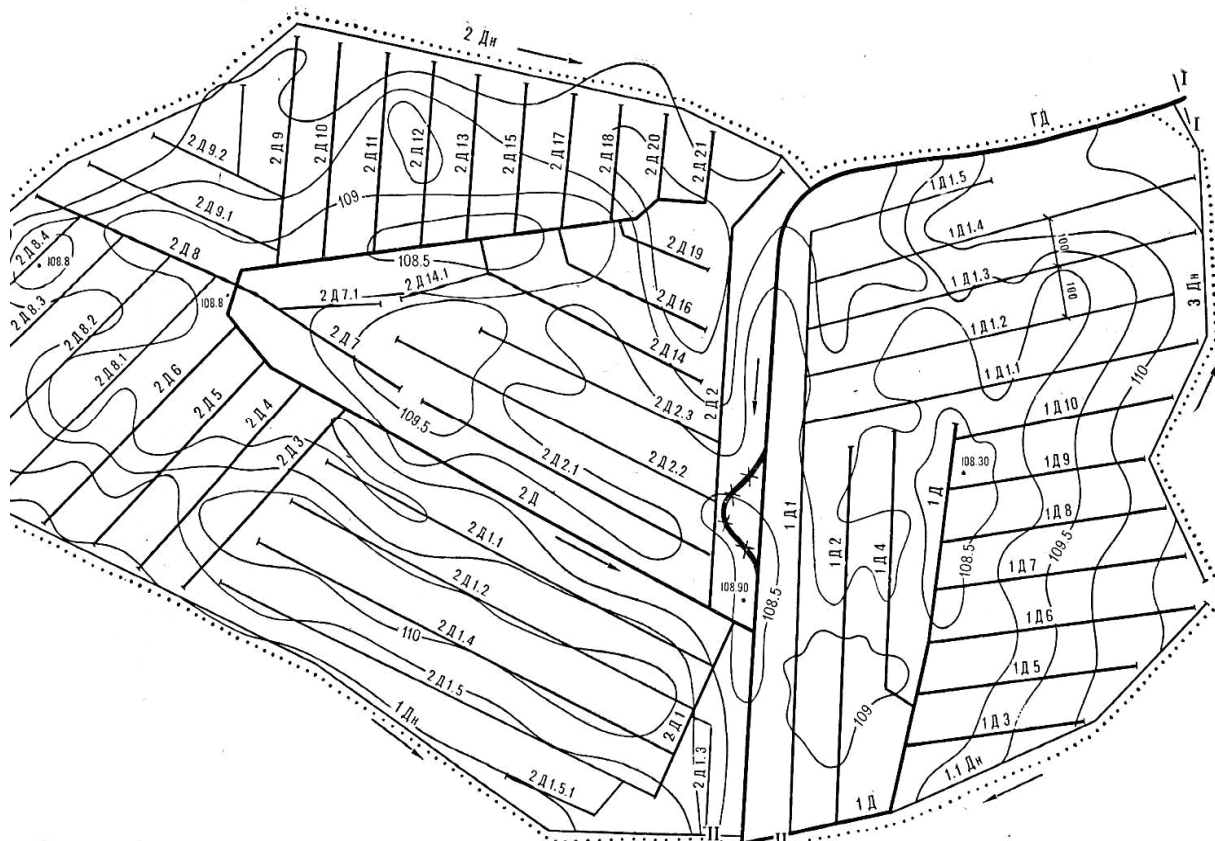


Рис. 12.2. Осушительная система с открытой осушительной сетью каналов

Основным назначением закрытой проводящей сети являются сбор и транспортировка в водоприемник почвенной и поверхностной воды, а также подача воды из водоприемника в коллекторы и дрены для увлажнения корнеобитаемого слоя почвы в системах двустороннего действия (увлажнительные коллекторы).

При проектировании дренажных систем, особенно на площадях с развитым микрорельефом, предусматриваются мероприятия по организации поверхностного стока, а участки дренажной системы должны быть простой конфигурации и размещаться на землях одного землепользователя.

На рисунке 12.3 приведен пример проектирования осушительной системы с закрытой проводящей сетью.

Закрытая регулирующая сеть должна обеспечивать своевременное снижение до нормы осушения уровней грунтовых и грунтово-напорных вод.

По размещению в плане она может быть трех видов:

- *систематическая* – дрены или собиратели размещены равномерно по всей площади;
- *выборочная* – для осушения отдельных чрезмерно увлажненных участков (низменностей, впадин);
- *комбинированная* – систематическая или выборочная сеть дополнена кротовым дренажем или глубоким рыхлением.

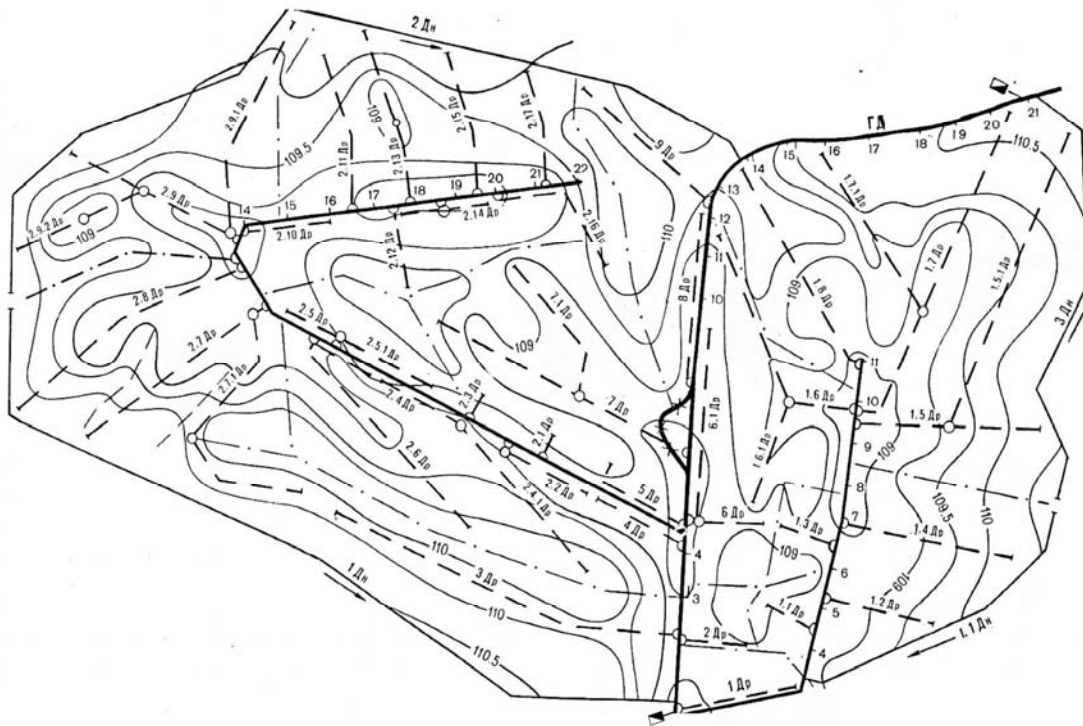


Рис. 12.3. Осушительная система с открытой и закрытой проводящей сетью

На минеральных почвах и мелкозаложенных торфяниках применяют как гончарный, так и пластмассовый дренаж из различных видов полимерных труб, при этом дрены размещаются в минеральном грунте, который подстилается торфом. На участках с разреженными минеральными почвами, в местах пересечения дренами староурочищ и выклинивания грунтовых вод, рекомендуется применять пластмассовый или гончарный дренаж на стеллажах.

В зависимости от рельефа местности регулирующая сеть может быть *поперечной*, если дрены размещены поперек направления потока, или *продольной*, если они идут вдоль направления потока, или комбинированной в случае объединения рельефов из предыдущих случаев.

Пример проектирования закрытой регулирующей сети на основе систематического дренажа приведен на рисунке 12.4.

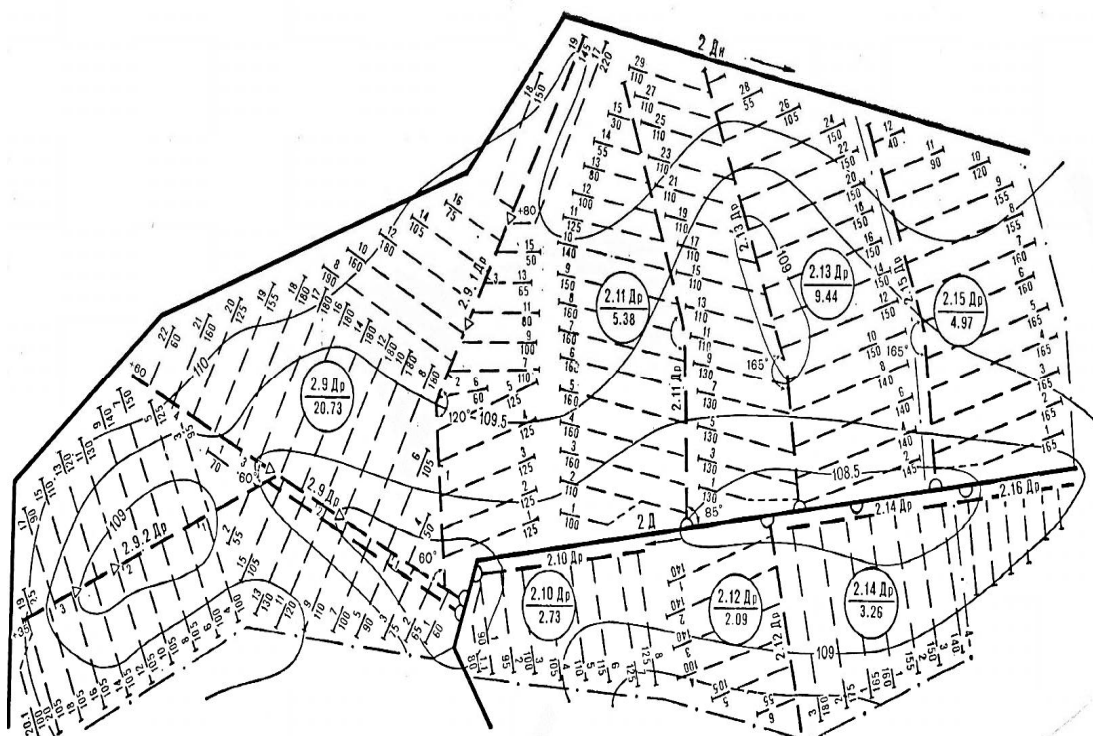


Рис. 12.4. Закрытая осушительная регулирующая сеть на основе систематического дренажа

Характерной особенностью водно-воздушного режима почв на землях с развитым микрорельефом является чрезмерное переувлажнение плоских безуклонных участков и затопление низменных элементов рельефа (впадины, «блюдца») при относительно благоприятных водно-воздушных условиях на повышенной части рельефа. Мелиорация таких земель сводится к проектированию выборочной осушительной сети (рис. 12.5) и организации поверхностного стока (рис. 12.6).

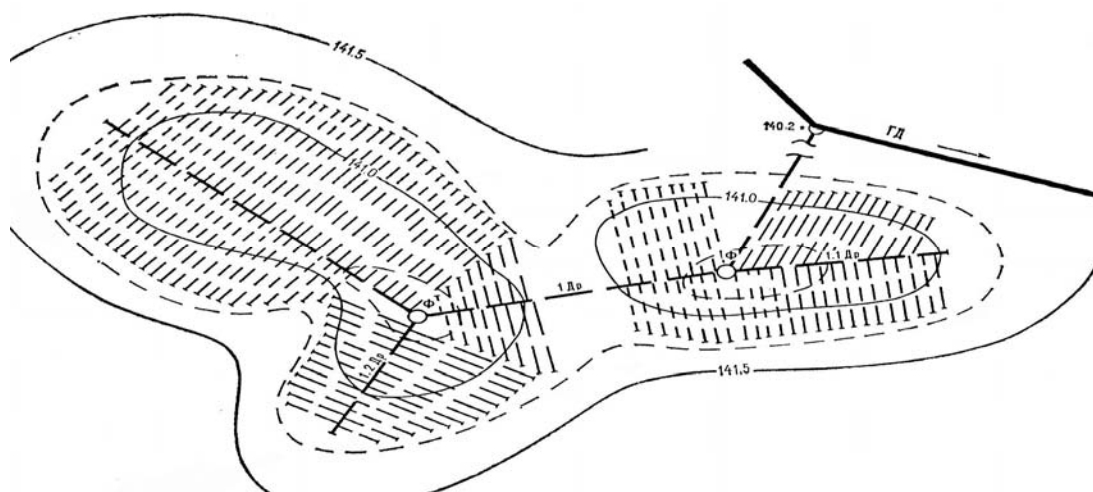


Рис. 12.5. Выборочный дренаж

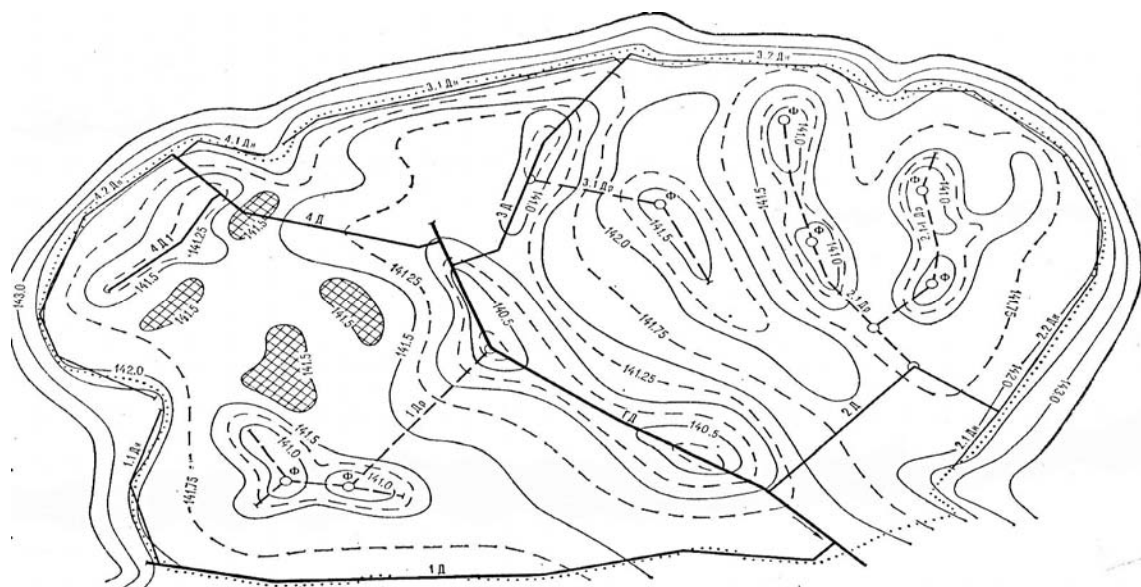


Рис. 12.6. Осушительная сеть по организации поверхностного стока

Вертикальный дренаж применяется как регулирующая и защитная сеть на объектах с грунтовым и грунтово-напорным типами водного питания.

В зависимости от конкретных природно-хозяйственных условий системы вертикального дренажа устраивают осушительными или осушительно-увлажнительными.

Основой для проектирования вертикального дренажа являются материалы гидрогеологических изысканий, которые выполняются в два этапа и содержат такие виды работ:

- 1) бурение зондирующих, разведывательных, разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин с отбором образцов почвы;
- 2) выполнение опытно-фильтрационных работ для определения расчетных гидрогеологических параметров, оценки богатого водой водоносного горизонта и установка осушительного эффекта скважин.

Пример проектирования осушительной системы с вертикальным дренажем представлен на рис. 12.7.

Осушительные системы, в состав которых входят защитные дамбы, называются *польдерными*. Учитывая гидрологический режим водоприемников, топографические условия осушаемых объектов

и их сельскохозяйственное использование, польдерные системы, как правило, проектируют с механическим водоподъёмом.

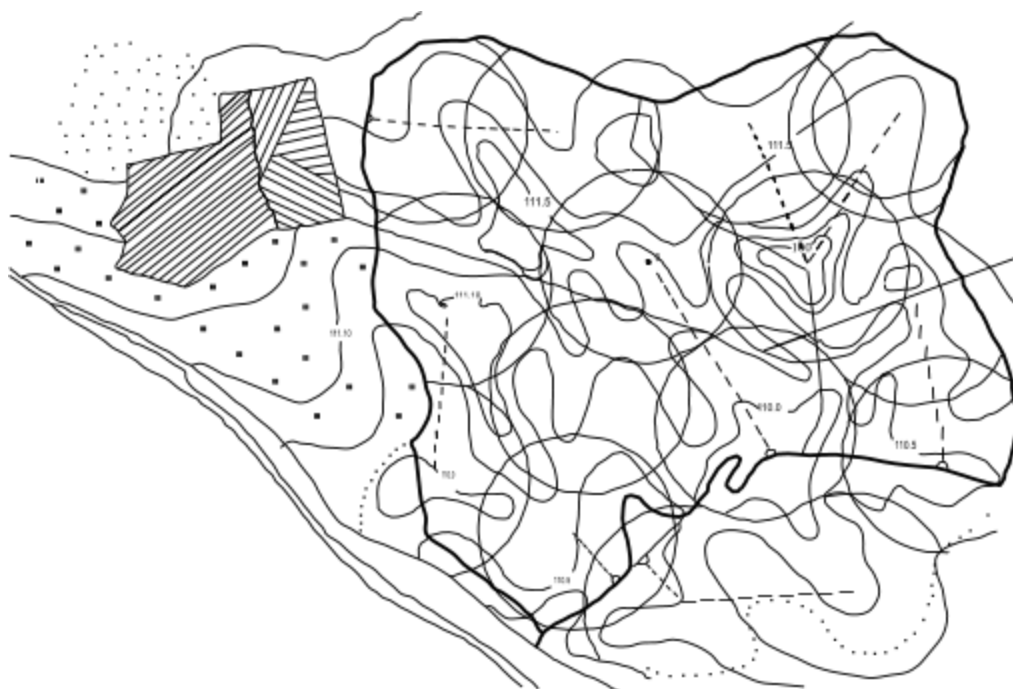


Рис. 12.7. Пример проектирования осушительной системы на основе вертикального дренажа

В состав польдерной системы входят: защитные дамбы, насосные станции, регулирующий бассейн, проводящая, защитная и регулирующая сети, водоотводный канал, гидротехнические сооружения, сооружения электроснабжения, связи и автоматики, дорожная сеть. В зависимости от рельефных, гидрологических и хозяйственно-экономических условий набор элементов польдерной системы может изменяться, кроме защитных дамб, которые являются определяющим элементом такой системы.

В зависимости от водоприемника и присущего ему гидрологического режима польдеры подразделяют на три типа: *приморские* (водоприемник – море), *пойменные* (водоприемник – река) и *низменные* (водоприемник – озеро или водохранилище).

Пример проектирования польдерной осушительной системы приведен на рисунке 12.8.

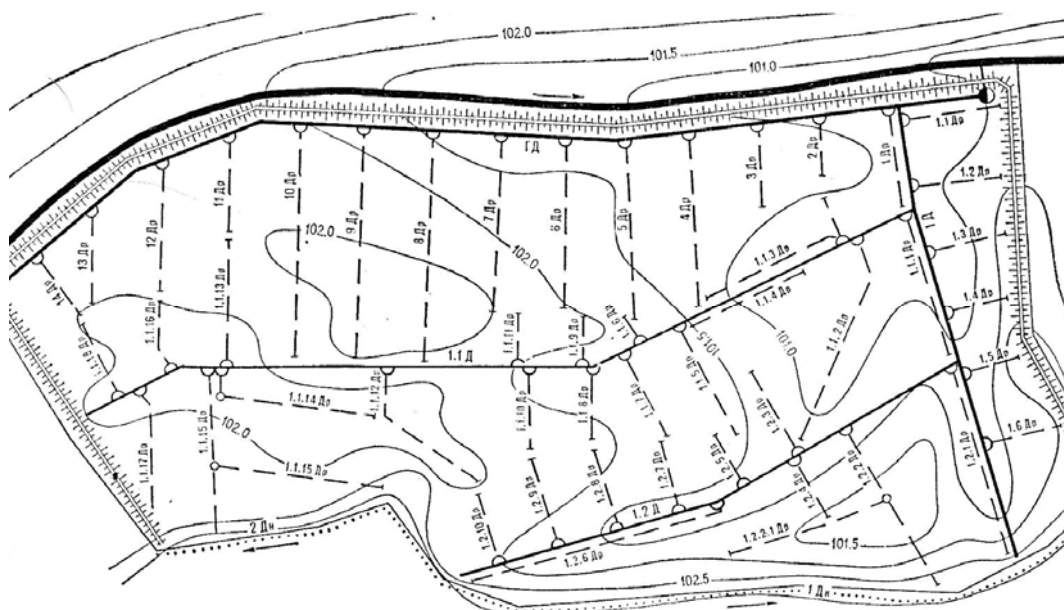


Рис. 12.8. Схема польдерной осушительной системы

Увлажнение осушаемых земель. В условиях возникновения периодических дефицитов влаги в корнеобитаемом слое почвы, что отрицательно влияет на развитие и урожай сельскохозяйственных культур, в составе осушительных систем необходимо предусматривать возможность применения

сооружений и устройств, обеспечивающих искусственное увлажнение осушаемых почв в засушливые периоды вегетации. Необходимость и выбор способа увлажнения должны быть обоснованы водобалансовыми, а целесообразность – технико-экономическими расчетами.

Современные гидромелиоративные системы в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения содержат не только дренаж, но и увлажняющие меры осушения, без чего не обеспечивается необходимый уровень регулирования водного режима почв и получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. При подпочвенном увлажнении в мелиорации применяют шлюзование – поднятие и поддержание УГВ с помощью шлюзов-регуляторов. Различают предупредительное и увлажнительное шлюзование (см. разд.12.1).

Увлажнительное шлюзование применяется тогда, когда в наличии есть гарантированный источник увлажнения, который дает возможность подавать воду в регулируемую сеть на протяжении всего периода вегетации. При этом увлажнение земель осуществляется путем подачи воды в закрытую сеть под напором и вода из дрен используется на напорное гравитационно-капиллярное увлажнение почвы, что позволяет повышать оперативность проведения подпочвенного увлажнения.

Наиболее благоприятный водный режим в засушливые периоды вегетации на осушаемых землях можно создать за счет орошения дождеванием (см. разд. 12.1), суть которого заключается в увлажнении приземного слоя воздуха и расчетного слоя почвы подачей воды в виде искусственного дождя разными типами дождевальных машин и установок. Применение орошения дождеванием, в отличие от различных режимов подпочвенного увлажнения, практически не лимитируется почвенными условиями и рельефом местности в зоне осушительных мелиораций, нуждается в значительно меньших расходах воды и является эффективным при выборочных поливах. Вместе с тем оно отличается большей дороговизной оборудования, большой металлоемкостью и энергоемкостью, повышением эксплуатационных расходов и потребностью в подготовке квалифицированных исполнителей. Поэтому в большинстве случаев для орошения осушаемых земель целесообразно использовать наименее технически сложные и относительно недорогие дождевальные машины и установки. Пример проектирования ОУС с использованием разных способов увлажнения осушаемых земель представлен на рисунке 12.9.

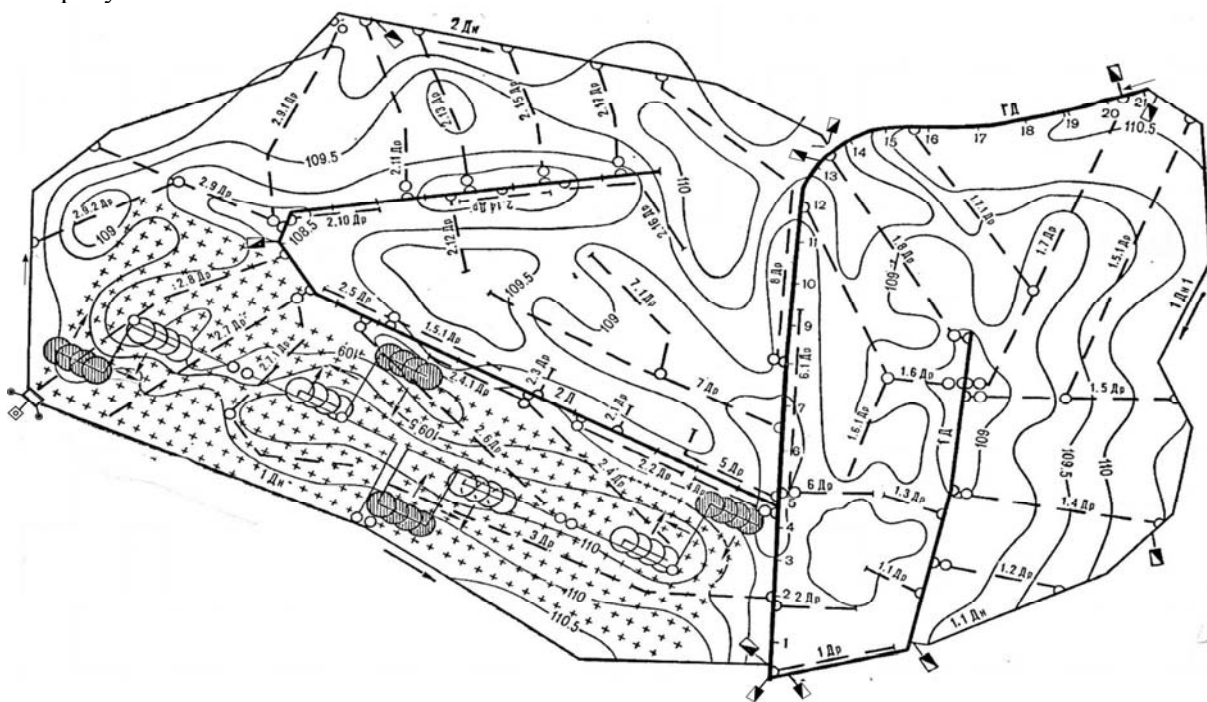


Рис. 12.9. Осушительно-увлажнительная система с использованием различных способов увлажнения осушаемых земель (орошение дождеванием установкой «Сигма»)

В развитие имеющихся данных нами была разработана и предложена новая конструкция польдерной водооборотной системы [35], в которой с целью повышения эффективности, оперативности и качества водорегулирования за счет применения увлажнительного шлюзования циклического действия проводящие открытые каналы выполнены обвалованными на высоту 0,4...0,6 м, что дает возможность увеличить напор воды в регулирующей дренажной сети до 0,8...1,0 м (рис. 12.10).

Система состоит из дамбы обвалования 1 для защиты осушаемой территории со стороны реки 2, проводящая осушительная и увлажнительная сети представлены каналами 3, к которым через усть-

евые сооружения подключена коллекторно-дренажная сеть 5, к насосной станции 6 подключен напорный трубопровод 7, предназначенный для подачи откачиваемой из польдера воды в наливное водохранилище 8, к которому через водовыпуски 9 подключены обвалованные увлажнительные каналы 10, на которых для создания необходимых напоров воды в определенных местах расставлены подпорные регулирующие сооружения 11. В увлажнительные обвалованные каналы через водовыпуски 12 подключены напорные трубопроводы 13 в виде закрытых увлажняющих коллекторов, подающие во время увлажнения воду в коллекторно-дренажную сеть 5.

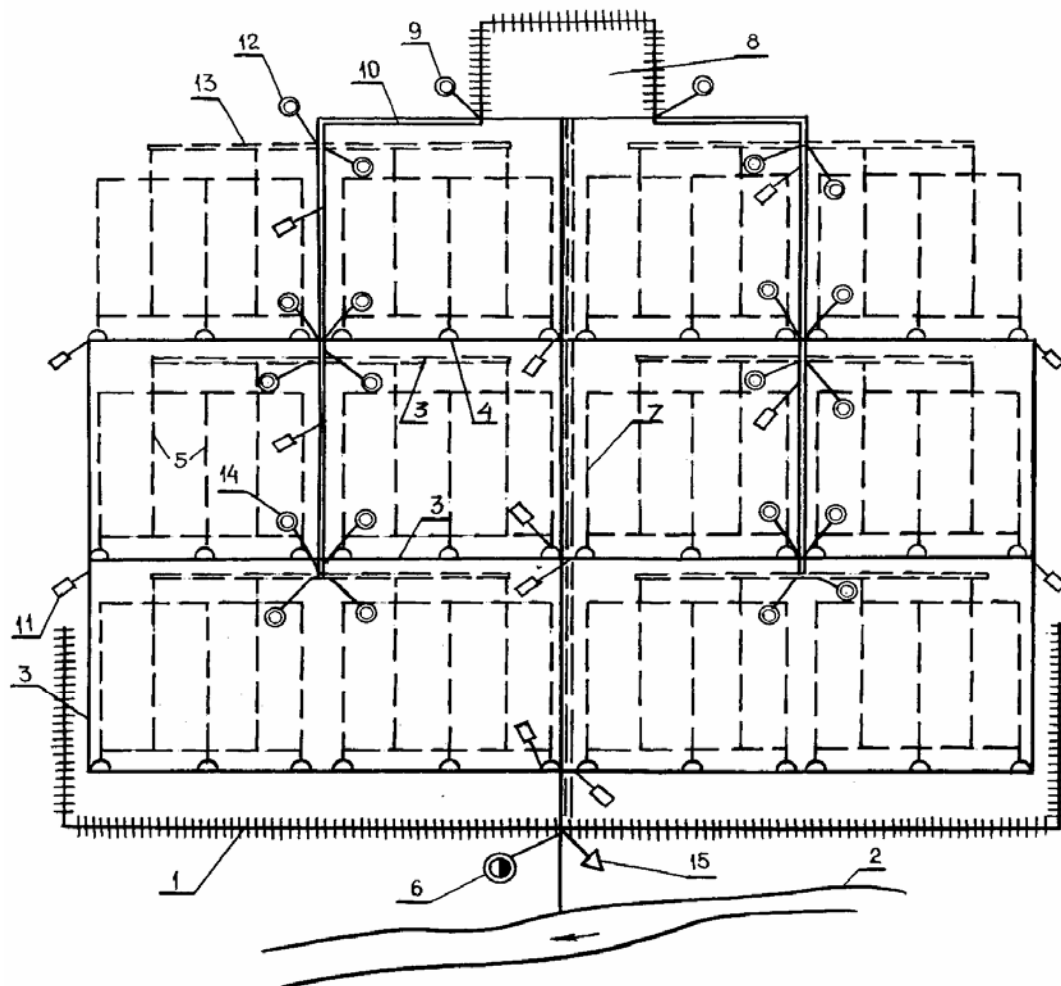


Рис. 12.10. Водооборотная ОУС польдерного типа с применением циклического режима увлажнительного шлюзования:

- 1 – дамба обвалования; 2 – река; 3 – осушительно-увлажняющие каналы; 4 – устьевые сооружения; 5 – коллекторно-дренажная сеть; 6 – насосная станция; 7 – напорный трубопровод; 8 – наливное водохранилище; 9 – водовыпуски; 10 – обвалованные увлажняющие каналы; 11 – шлюзы-регуляторы; 12 – водовыпуски в трубопроводы; 13 – увлажняющие закрытые коллекторы; 14 – регулирующие колодцы; 15 – концевой водовыпуск

Для создания подпоров воды в устьевой части коллекторно-дренажных систем установлены регулирующие колодцы 14, которые могут быть дополнительно оборудованы автоматическими регуляторами уровня подпора воды. Установленный рядом с насосной станцией концевой водовыпуск 15 необходим для самотечного сброса воды из системы в период низких уровней в водоприемник. Технология работы системы в периоды осушения и увлажнения отличается и заключается в следующем. Во влажный весенний период, когда система работает в режиме осушения, насосная станция 6 перекачивает воду, отводящуюся коллекторно-дренажной 5 и проводящей сетью 3 с осушаемой территории, через напорный трубопровод 7 в водохранилище 8. При этом водовыпуски 9 и 12 закрыты, а все подпорные сооружения открыты. В засушливые периоды вегетации летом, когда система работает в режиме увлажнения, открываются водовыпуски 9, и аккумулированная вода из наливного водохранилища 8 поступает в обвалованные увлажнительные каналы 10. Далее через водовыпуски 12 вода поступает в напорные трубопроводы 13 и коллекторно-дренажную сеть 5. При этом запорная армату-

ра в дренажных колодцах 14 и подпорные сооружения 11 на каналах закрыта. По сравнению с существующими, предложенная конструкция водооборотной системы польдерного типа позволяет за счет повышения оперативности и качества регулирования водного режима соответственно повысить общую эколого-экономическую эффективность осушаемых земель.

12.3. Водохозяйственный комплекс хозяйства «Рассвет» Костопольского района Ровенской области

В качестве одного из примеров реального воплощения разных типов и конструкций гидромелиоративных систем на осушаемых землях зоны Полесья в изменчивых почвенно-мелиоративных и рельефных условиях разработана и реализована на практике комплексная схема мелиорации земель хозяйства «Рассвет» в Ровенской области путем создания научно-учебного производственного центра (НУПЦ) «Мелиорация-урожай». Она обеспечивает комплексное рациональное использование водных и земельных ресурсов мелиорированных земель при недостаточном обеспечении территории водными ресурсами и с низким потенциальным плодородием песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почв. В результате проведения мелиоративных работ здесь не только обеспечены водой мелиоративные системы двустороннего действия, но и созданы водоемы для рыбозаведения и зоны отдыха населения, экологические ниши для водоплавающей и боровой дичи.

Территория хозяйства расположена в пойме и надпойменных террасах левой стороны среднего течения реки Горынь на границе Ровенской и Волынской области, которая проходит по малой речке Деражка (рис. 12.11).

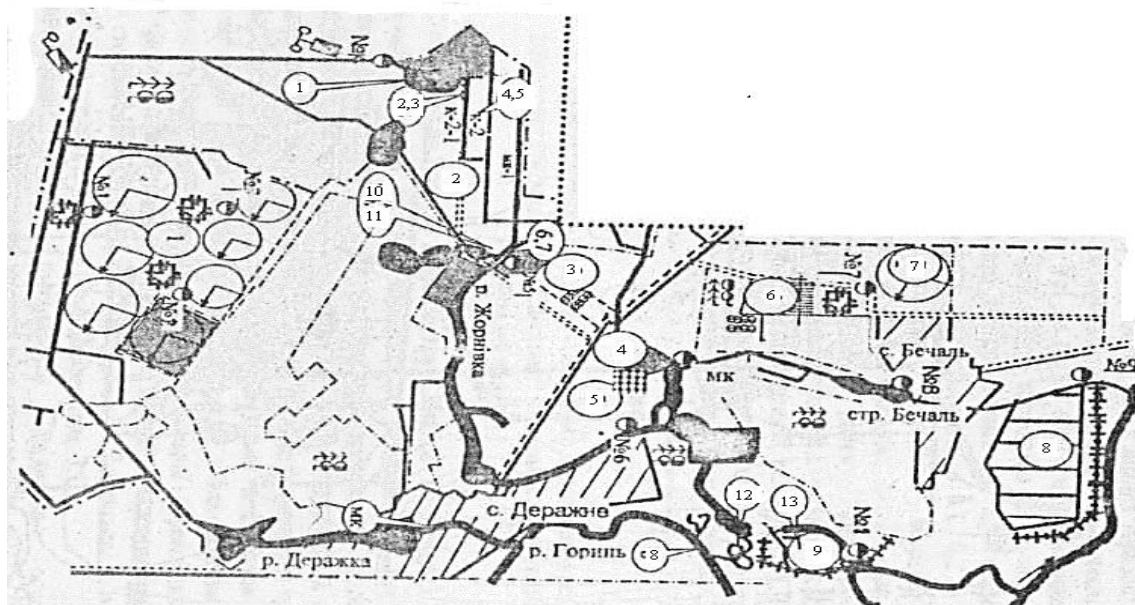


Рис. 12.11. Схема природно-технического комплекса базового хозяйства НУПЦ «Мелиорация-урожай» частного сельскохозяйственного предприятия «Рассвет» Костопольского района Ровенской области

Мелиорация земель хозяйства проведена системами с двойным регулированием водного режима почв, каждая из которых имеет конструктивные отличия. Эти системы полностью гидравлически взаимосвязаны между собой водными артериями, начиная от систем, размещенных на высочайших отметках территории хозяйства, и заканчивая системами, расположенными в пойме р. Горынь.

Основным источником водных ресурсов комплекса является малая р. Деражка, которая протекает в верхней части территории хозяйства на границе Ровенской и Волынской областей. Водные ресурсы этой малой речки незначительные. Речка Деражка со своим продолжением – Радивилковским каналом имеет длину 26 км, а площадь водосбора 105 км². В естественном состоянии это небольшой поток глубиной несколько десятков сантиметров и шириной в некоторых местах чуть больше 1...3 м. Более заметной она становится во время весеннего наводнения и дождевых паводков, когда ее расход достигает 43...49 м³/с. Тем не менее этот период кратковременный. Ее бытовой расход 50 % обеспеченности по данным проекта равняется всего 0,054 м³/с. Поэтому об использовании этой реки ни для дополнительного увлажнения почвы, ни для разведения рыбы, ни для мест гнездования водоплавающей дичи не могло быть речи. Так было до проведения широкомасштабных мелиоративных работ в хозяйстве «Рассвет». Потребность же в воде лишь мелиоративных систем общей площадью свыше 1100 га в разные по водности годы составляет 3...10 млн м³.

На осушительно-увлажнительно-оросительной мелиоративной системе «Пендики» (1) в пойме и надпойменной террасе р. Деражка запроектировано три водохранилища. Одно из них площадью 4 га и емкостью 48 тыс. м³ наполняется водами самой реки, а два других общей площадью 4,3 га и объемом 51,3 тыс. м³, что расположены в понижениях более высокой части системы, наполняются из трех буровых скважин.

Радивилковский канал тоже проходит по границе Ровенской и Волынской областей, используется только для отвода избыточных вод из массива и для пропуска паводковых вод, если они являются чрезмерными для параметров русла малой р. Деражки.

Малая р. Деражка является магистральным каналом системы, в русле которой запроектировано аккумулирующее водохранилище № 1. Ниже по течению от водохранилища запроектирован русловой шлюз-регулятор, который определяет уровень воды в водохранилище и верхней части р. Деражки. Верхняя часть р. Деражки расширена и используется как аккумулятор воды и для разведения рыбы, а нижняя – как водоприемник избыточных вод.

Мелиоративными мероприятиями этой части системы предусмотрено орошение почвы дождевальными машинами типа «Фрегат» и улучшение водно-физических свойств пахотного слоя почвы внесением торфа из ложа каналов и водохранилищ.

Площадь водосбора ручья Бечаль составляет 730 га, а с учетом польдерной системы и ее водосбора – 1210 га. Длина ручья, по данным проекта польдерной мелиоративной системы «Бечаль», водохозяйственного комплекса с. Бечаль – 3,9 км, а до реки Горынь – 5,4 км. Максимальный расход весеннего половодья 10%-ной обеспеченности на водохозяйственном комплексе с. Бечаль равен 1,9 м³/с, а дождевых паводков – 1,76 м³/с. С водоема с. Бечаль насосной станцией (НС) № 8 вода подается для орошения культурного пастбища фермы с. Бечаль, расположенного на ОУС (6). Геоморфологические условия массива характеризуются развитым микро- и мезорельефом в нижней части системы и плавно переменным наклонным рельефом в верхней части системы. В результате верхняя часть массива орошалась с помощью дождевальной машины «Волжанка», а нижняя часть массива – оросительным агрегатом «Радуга».

Избыточная вода из понижений рельефа с помощью выборочных коллекторных систем подается в ручей Бечаль.

На второй надпойменной террасе, над с. Бечаль, расположена ОУС, используемая под культурное пастбище (7). Орошение пастбища осуществляется с помощью дождевальной машины «Фрегат», вода к которой подается НС № 7 из искусственного водоема суточного регулирования. В водоем вода поступает из трех буровых скважин, расположенных по контуру лесного массива. Эту же воду используют и для поения скота на пастбище. Излишек грунтовых вод из понижений рельефа отводят выборочными коллекторно-дренажными системами в с. Бечаль. Защиту от поверхностных вод массива осуществляют противозрозионными валами, расположенными выше с. Бечаль.

Из ручья и водоемов с. Бечаль общей площадью 3,1 га и общим объемом 37,2 тыс. м³ вода поступает на осушительно-увлажнительную польдерную мелиоративную систему с водооборотом и механической откачкой воды «Бечаль» (8). Система расположена в пойме р. Горынь и отгорожена от нее противопаводковой дамбой.

С целью предотвращения попадания загрязненных дренажных вод системы в р. Горынь вода из мелиоративной системы откачивается НС № 9 не в реку, а по обратному трубопроводу отводится в аккумулирующий водоем системы площадью 1,4 га и объемом 14 тыс. м³, расположенный под надпойменной террасой. Вода из него повторно используется для дополнительного увлажнения.

Озеро Деражное, общей площадью 30,7 га и объемом 465,2 тыс. м³, используется для рыборазведения и как зона отдыха населения. Затем вода забирается НС № 6 и подается на мелиоративную систему (5) культурного пастбища фермы с. Деражное. От НС вода поступает в ставки зоны отдыха и для рыборазведения. Из нижнего пруда «Любительского» площадью 2,1 га и объемом 27,3 тыс. м³ водохозяйственного комплекса отстоявшаяся вода частично поступает в р. Горынь, а частично используется для дополнительного увлажнения польдерной водооборотной осушительно-увлажнительной с механической откачкой воды мелиоративной системы под овощи (9).

Согласно разработанным агроэкологическим требованиям избыточная вода из системы не попадает в р. Горынь, а НС № 10 отводится в котловину надпойменной террасы. Из котловины вода самотеком поступает в аккумулирующее водохранилище этой же системы площадью 2,2 га и объемом 27,5 тыс. м³. Водоохранилище системы вытянутой формы запроектировано таким образом, что не только аккумулирует дренажный сток системы, но и перехватывает грунтовый поток с надпойменной террасы на систему. Объединение мелиоративных систем хозяйства в единую систему рационального использования водных и земельных ресурсов общей площадью свыше 80 га и общим объемом сви-

ше 1,2 млн м³ дало положительный сельскохозяйственный, водохозяйственный и экологический эффект.

Таким образом, мелиоративно-водохозяйственный комплекс частного сельскохозяйственного предприятия «Рассвет» является уникальным инженерным экологически обеспеченным мелиоративным комплексом в обычных типовых условиях Полесья.

Все мелиоративные системы хозяйства обеспечены водохранилищами и соединены между собой водными артериями, что улучшило экологическое состояние комплекса и создало неповторимый антропогенно-природный ландшафт. Наличие водохранилищ и расширенных водных артерий дало возможность не только зааккумулировать дополнительный запас воды для увлажнения мелиорированных земель и разведения рыбы, но и создать экологические ниши для размножения и существования водоплавающей птицы и дичи. При этом дренажные воды, которые поступают в р. Горынь, имеют не только допустимую концентрацию химических веществ, но и значительно меньше, чем в самой р. Горынь.

Водорегулирование на мелиорированных землях под полевыми севооборотами осуществляется с соблюдением агроэкологических требований в сложных природных условиях. Характерной особенностью рельефа мелиорированных земель Западного Полесья Украины является его изменчивость, которая значительно влияет на неравномерность урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур. Эта неравномерность является следствием изменчивости почв, общих запасов влаги, влажности активного слоя почвы и разной глубины залегания УГВ на территории мелиоративной системы. К тому же она усиливалась локальным нарушением маломощного гумусового слоя почвы при проведении выравнивающих работ в ходе строительства системы.

Основным антропогенным фактором влияния на водный режим осушенных земель Западного Полесья Украины является УГВ. Традиционно на больших по площади полях севооборотов коллективных хозяйств управление УГВ на системе осуществлялось поддержанием необходимого уровня воды в открытой сети каналов с помощью шлюзов-регуляторов. Из-за неравномерности рельефа подкомандной территории проводились большие объемы земляных выравнивающих работ. Это в определенной степени решало вопрос уменьшения амплитуды залегания УГВ, но приводило к локальным потерям маломощного на Полесье гумусового слоя почвы, что также служило причиной неравномерности урожайности сельскохозяйственных культур по территории системы и, как следствие, снижения валового урожая по всей мелиоративной системе.

Учет влияния рельефа территории на водный режим осушаемых земель должен осуществляться при проектировании систем. Если же конструкция системы не учитывает степени сложности рельефа, то соблюдение равномерного водорегулирования на всей территории эксплуатационными мероприятиями практически невозможно. Соответственно получение высокого равномерного урожая сельскохозяйственных культур по всей территории мелиоративной системы без учета таких требований тоже будет невозможно. Поэтому при разработке проектов мелиоративных систем гумидной зоны нужно применять как традиционные конструктивные схемы, так и новые, но с учетом агроэкологических требований к конструкциям мелиоративных систем, с тем чтобы они могли обеспечивать повышение уровня интенсификации сельскохозяйственного производства.

Конструкции мелиоративной системы должны обеспечивать создание равномерного водного режима на всей мелиорированной территории и обеспечивать рациональное использование прежде всего водных и земельных ресурсов. Учитывая агроэкологические требования к конструкции мелиоративной системы, необходимо учитывать, что для обеспечения равномерного водорегулирования почв по всему мелиорированному массиву применение больших объемов планировочных земляных работ при плавно меняющемся рельефе не является рациональным. Поэтому при близком залегании грунтовых вод мелиоративная система должна обеспечивать регулируемый УГВ, что приближенно повторяет поверхность земли. При глубоком залегании грунтовых вод мелиоративная система должна обеспечивать избирательное осушение понижений с близким залеганием грунтовых вод и орошение дождеванием всей территории системы.

Критерием выбора агроэкологических требований к осушительно-увлажнительной или осушительно-оросительной системе должен быть также, особенно в условиях дефицита водных ресурсов, фактор наименьших потерь воды при подаче поливной нормы в корнеобитаемый слой почвы.

Основным элементом ОУС является регулирующая сеть, наиболее распространенные конструктивные решения которой приведены на рисунке 12.12.

Осушительная мелиоративная система на первом этапе развития мелиоративной науки состояла лишь из открытых каналов, которые играли роль как проводящей, так и регулирующей сети. Тем не менее со временем роль регулирующей сети стали выполнять разные виды нематериальных и ма-

териальных закрытых дрен. Определяющей особенностью ОУС, согласно агроэкологическим требованиям к конструкции мелиоративной системы, для территорий с плавно изменяющимся локальным мезо- и микрорельефом является размещение регулирующей и транспортирующей сети так, чтобы каждый участок территории мог иметь дифференцированно УГВ.

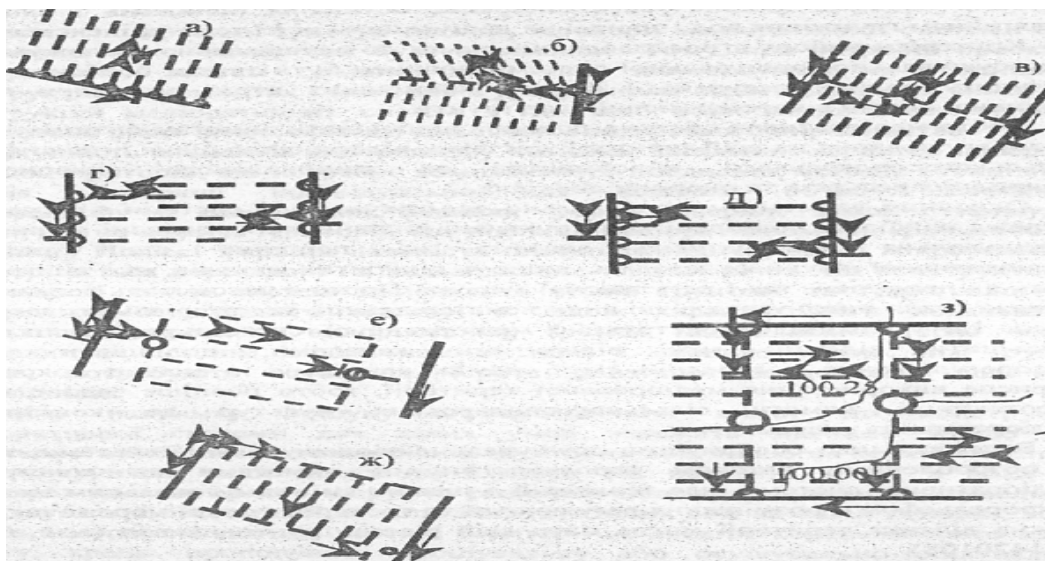


Рис. 12.12. Схемы конструктивных особенностей коллекторно-дренажных систем:

а – с регулируемыми нематериальными и материальными дренами, впадающими в открытый канал; б – традиционная, «в елочку», с совмещенными функциями «осушение – увлажнение», тупиковыми коллектором и дренами; в – с проточным коллектором, тупиковыми дренами с совмещенными функциями; г – с загущенными в средней части межканальной полосы дренами с совмещенными функциями; д – с проточными одиночными дренами с совмещенными функциями; е – с проточными раздельными функциями коллекторов и смотровыми колодцами, расположенными в средней части коллекторов и проточными совмещенными функциями дрен; ж – с проточными раздельными функциями коллекторов и проточными совмещенными функциями дрен; з – с проточными совмещенными функциями коллекторов и тупиковыми дренами с совмещенными функциями «оптимальной длины», раздельными функциями коллекторов и проточными совмещенными функциями дрен; ж – с проточными совмещенными функциями коллекторов и тупиковыми дренами с совмещенными функциями «оптимальной длины»

Транспортирующая сеть таких систем проецируется преимущественно разрешением для осушительной и увлажняющей части системы. Дренажные коллекторы, которые выполняют в большинстве случаев совмещение функции осушителей-увлажнителей отдельных участков поля, присоединяют к увлажняющей части системы таким образом, чтобы, по возможности, трасса коллектора проходила по линии как можно малейшего перепада отметок земли в истоке его и устье.

Так, осушительно-увлажнительная система «Михайловка» (рис. 12.13), что запроектирована по такому принципу, является частью мелиоративной системы «Деражное – Постойное», которая является одной из эталонных систем Украины. Площадь между каналами К-2 и К-2-1 предусмотрено увлажнять из открытого канала К-2-1, а остальные системы – с закрытых распределительных трубопроводов-увлажнителей.

В точках перехода средневзвешенной горизонтали через коллектор на нем устраивали смотровой колодец с регуляторами уровня воды в нижнем бьефе и ограничением уровня воды в верхнем бьефе.

Благодаря соблюдению таких агроэкологических требований к мелиоративной системе водный режим почвы можно регулировать на каждом отдельном участке независимо от соседнего.

Особенности геологического строения, формирование почв территорий с развитым мезо- и микрорельефом, источников их водного питания определяют особый подход по отношению к агроэкологическим требованиям к проектированию мелиоративных систем. Суть этого подхода состоит в том, что создание оптимальных условий для выращивания сельскохозяйственных культур должно базироваться на комплексе мероприятий, включающих в себя как разработку агроэкологических требований к конструкциям мелиоративных систем, так и проведение значительного объема технологических операций по выравниванию поверхности земли. На территории с локальным развитым рельефом проектирование ОУС затрудняется из-за невозможности поддержания УГВ в пределах нормы осушения по всей площади объекта мелиорации.

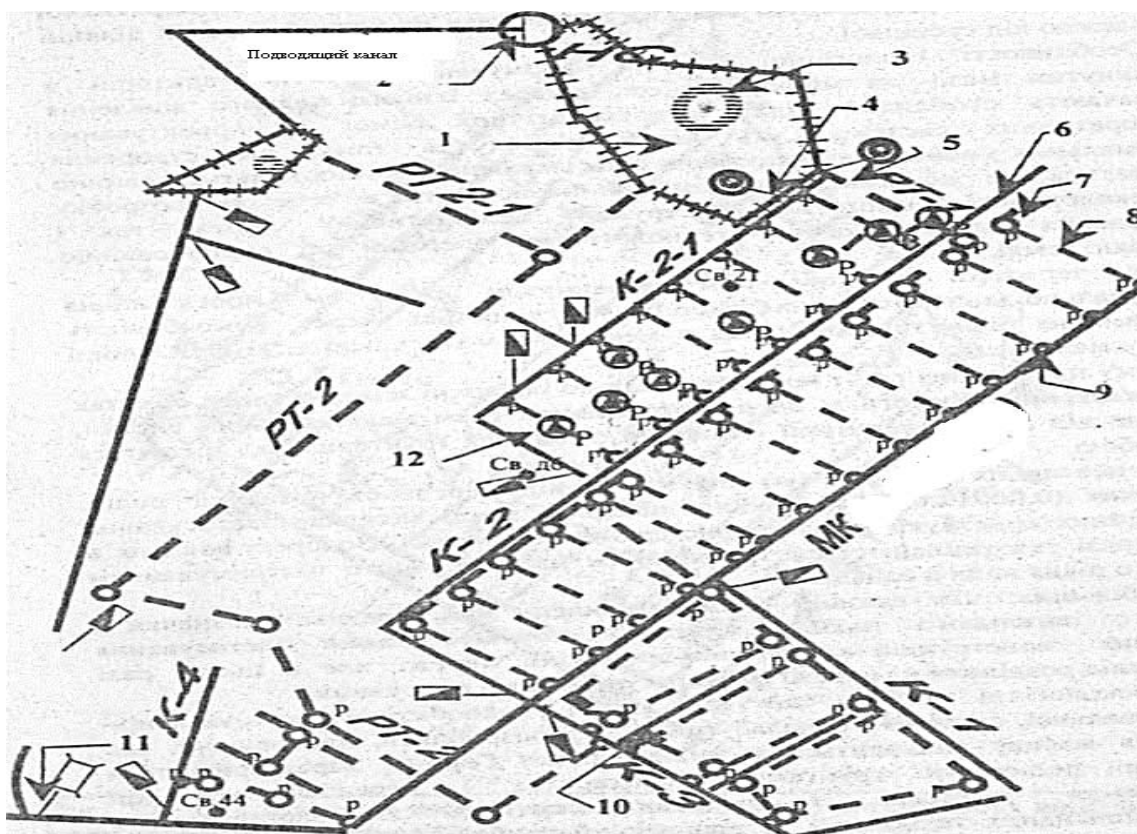


Рис. 12.13. Осушительно-увлажнительная система «Михайловка»:

1 – водохранилище; 2 – насосная станция подкачки; 3 – остров; 4 – водовыпуски; 5 – увлажнительный магистральный трубопровод; 6 – каналы; 7 – смотровые колодцы с регуляторами подачи воды; 8 – осушительно-увлажнительные коллекторы; 9 – дренажные устья с регуляторами дренажного стока; 10 – потайные колодцы; 11 – мост; 12 – смотровые колодцы с регуляторами уровня воды по нижнему бьефу с ограничением верхнего

В связи с изложенным проведение работ по планировке поверхности земли на таких объектах является обязательным. Требования же к конструктивным схемам мелиоративных систем, в зависимости от наклона территории и глубины залегания грунтовых вод, различаются между собой.

При небольших (0,3...0,5 м) отклонениях от средней отметки поверхности полей и незначительных (0,0001...0,0004) наклонов поверхности земли возможно применение традиционных конструкций коллекторно-дренажной сети. Водорегулирование в таком случае также осуществляется традиционным путем, т. е. поддержанием заданного уровня воды в канале.

При больших, чем указано выше, отклонениях от средней отметки и большего общего уклона территории возможно также применение обычных конструкций коллекторно-дренажной сети, но в этом случае каналы нужно разделить на отдельные бьефы регулируемыми сооружениями.

Агроэкологические требования к полевой водооборотной осушительно-увлажнительной системе «Змиинец» (рис. 12.14) разрабатывали, учитывая, что территория массива находится в пойме р. Горынь, характеризуется наиболее плодородными почвами в хозяйстве и предполагается под выращивание кормовых и полевых культур с применением высокоинтенсивных технологий по равномерной глубине залегания грунтовых вод и оборотного использования воды с целью недопущения загрязнения водного объекта.

Рельеф поверхности земли на системе в целом вообще равномерный, тем не менее с наличием большого количества замкнутых снижений, небольших горбов, т. е. развитым и равномерным локальным рельефом. Территория ее в естественном состоянии – это пойма с резко выраженным характером рельефа и близким залеганием УГВ. Общий уклон территории системы направлен от надпойменной террасы в сторону р. Горынь.

Основными причинами избыточного увлажнения здесь были слабая естественная дренированность территории, сложный микрорельеф, затопление поймы весенними паводками. Учитывая гидрологические, гидрогеологические, геологические и иные условия, которые характеризовались наличием почв с низкими фильтрационными свойствами и сложным микрорельефом с большим количеством бугорков и блюдцевидных понижений, наиболее эффективным является устройство гончарного

дренажа и отвод поверхностных вод сетью открытых каналов с планированием почвогрунтов по отдельным межканальным полосам. Сбор воды из дренажных регулирующих систем проводится с помощью параллельных открытых каналов. Из них вода подается в магистральный канал, который проходит вдоль дамбы по нижнему контуру системы.

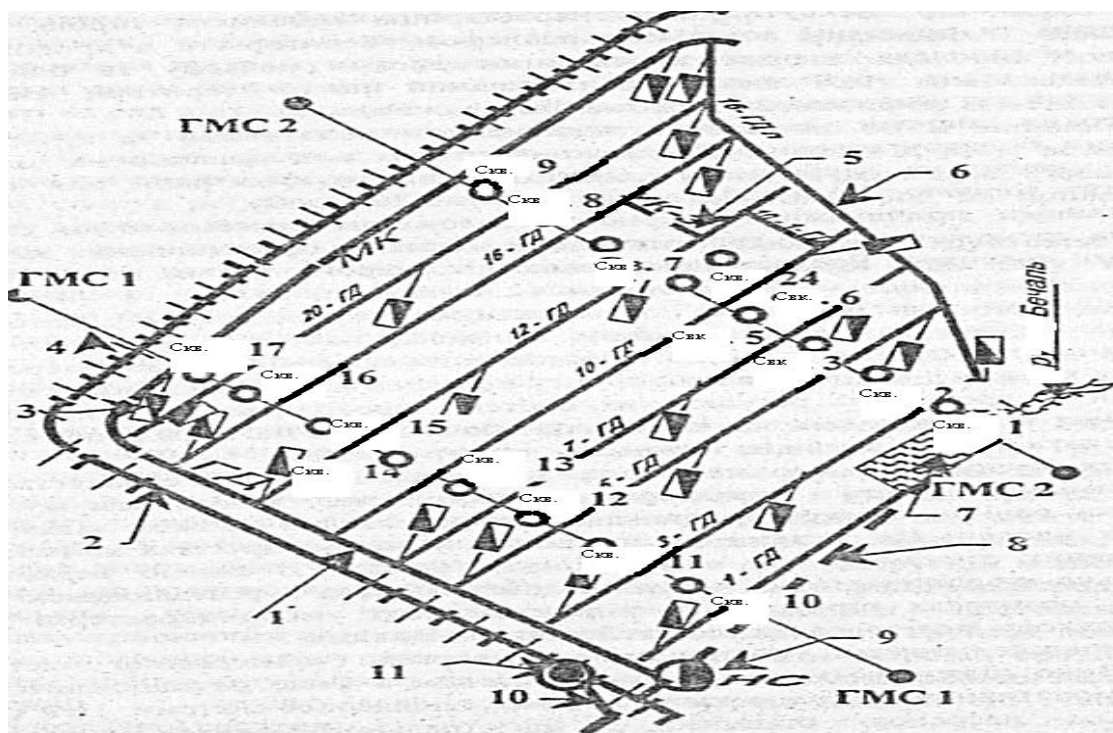


Рис. 12.14. Осушительно-увлажняющая польдерная с механической откачкой воды водооборотная система «Змиинец»:

1 – магистральный канал; 2 – защитная дамба; 3 – шлюз-регулятор; 4 – створ наблюдательных скважин; 5 – влажностный коллектор; 6 – нагорно-ловчий канал; 7 – аккумулирующее водохранилище; 8 – обратный водопровод; 9 – насосная станция; 10 – отводящий канал; 11 – самотечный водовыпуск

Закрытая осушительная сеть устроена на площади 296 га и состоит из 149 дренажных систем. Характерной особенностью данного массива, как отмечалось раньше, является ярко выраженный микрорельеф с большим количеством замкнутых понижений. Эта система – замыкающая в водных артериях комплекса мелиоративных систем и имеет гидравлическую связь с самой верхней осушительно-увлажнительной системой «Михайловка», расположенной на высших отметках территории хозяйства. Такие условия характерны для значительного количества мелиорированных земель Западного Полесья.

Водохранилище системы расположено в верхней притеррасной части поймы. Оно подпитывается дренажным стоком с выше расположенных на террасе мелиоративных систем, а также с самой польдерной системы. Этот сток возвращается насосной станцией из магистрального канала снова в водохранилище и расширенный нагорно-ловчий канал системы под надпойменной террасой, который одновременно выполняет совмещенную функцию увлажнителя.

При строительстве польдерных систем с учетом того, что к тому времени все прилегающие к системе земли были подтоплены, был построен канал со шлюзами-регуляторами для обеспечения оптимального УГВ на все этих площадях. В то же время в местах выхода реки из берегов, были построены небольшие дамбы типа «голландских польдеров», а берега реки укреплены камнем. Все площади были очищены от кустарников с соблюдением соответствующих экологических норм, позволяющих использовать их эффективно в дальнейшем.

По существующим нормам проектирования мелиоративных систем для гарантированного двустороннего регулирования водного режима почв при близком залегании УГВ проектируют осушительно-увлажнительную систему с избыточным увлажнением, а при глубоком – оросительную с орошением дождеванием. Однако в условиях правых притоков р. Припяти есть территории, где близкое залегание почвенных вод граничит с глубоким. С целью улучшения водорегулирования в таких условиях были внесены дополнения в агроэкологические требования к конструкциям мелиоративных систем, состоящих: в разработке технологии мелиорации малопродуктивных полесских песчаных почв путем сочетания противоположных им с водоаккумулирующими

свойствами; улучшении агроэкологического состояния этих земель; предотвращении ветровой эрозии почв; дифференцированном подходе к критерию разграничения границ применения функций осушительно-увлажнительно-оросительной конструкции мелиоративной системы.

Такие агроэкологические требования впервые применены при проектировании осушительно-увлажнительно-оросительной мелиоративной системы «Пендыки» базового хозяйства УНПЦ «Мелиорация-урожай» (рис. 12.15).

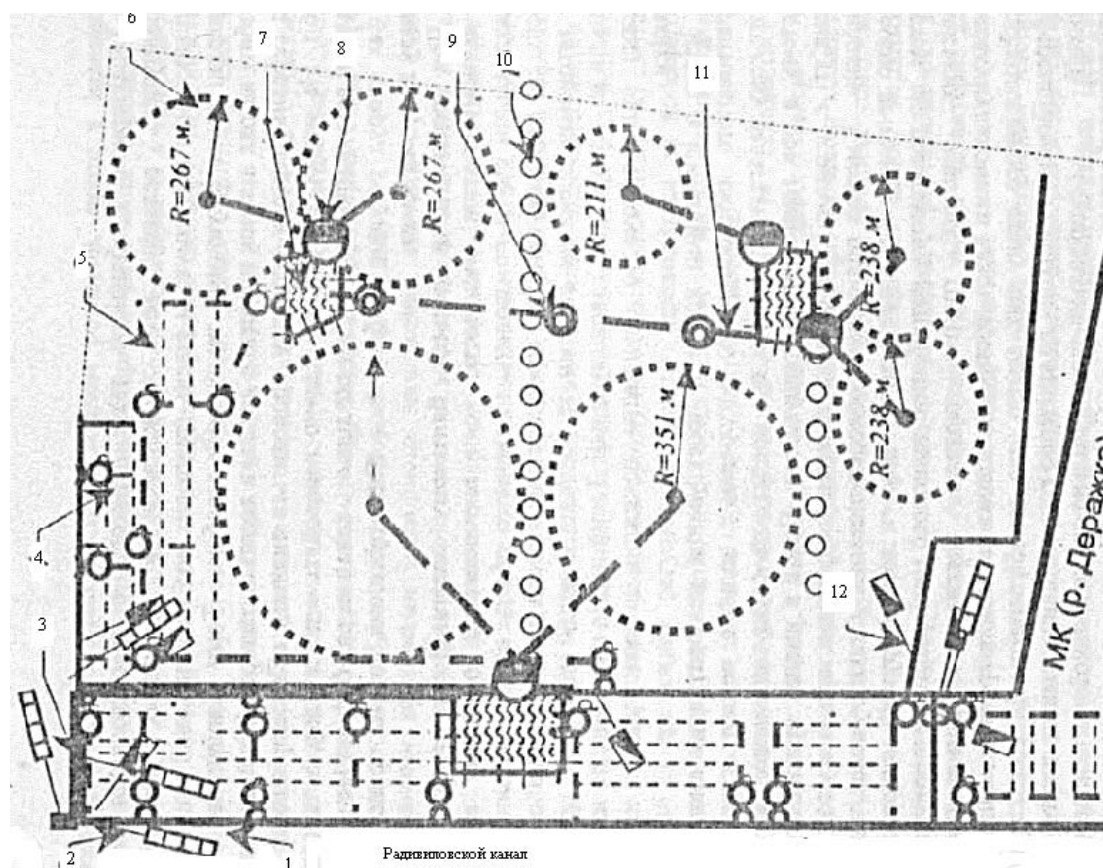


Рис. 12.15. Осушительно-увлажнительно-оросительная система «Пендыки»:

1 – открытые каналы; 2 – водомерные сооружения; 3 – русло р. Деражка, расширенное под водохранилище; 4 – закрытые коллекторы с устьями, смотровыми колодцами и регуляторами уровня воды; 5 – дрены; 6 – дождевальная машина «Фрегат» и радиусы действия их крыльев; 7 – аккумулирующие водоемы; 8 – насосные станции; 9 – водозаборные скважины; 10 – лесополосы; 11 – напорный питающий водопровод; 12 – шлюзы-регуляторы

Так, необходимость в применении ОУС в условиях с плавно-изменчивым мезо- и микрорельефом возникает, если на мелиорированном массиве чередуются участки с глубоким и близким залеганием грунтовых вод, но часть массива с глубоким залеганием грунтовых вод преобладает.

Забор воды для дополнительного увлажнения почв методом подпочвенного увлажнения предусматривают как из естественных водоемов, так и из водохранилищ, которые аккумулируют воду для дождевальных машин. Подбор дождевальной техники для таких систем определяется наравне с общепринятыми критериями, а дополнительно еще и такими, на которые существенное влияние оказывает рельеф, уклон и конфигурация участка. На всей освоенной мелиорированной территории для отдыха работников были построены колодцы, вода в которых качественная и питьевая. Также была построена система водопроводов и каналов для подачи воды на повторное увлажнение. В местах впадения реки в пойму были созданы водоемы со шлюзами для сохранности запасов воды путем зарегулирования.

Для борьбы с ветровой эрозией были насажены лесные полосы. Ликвидированы все блюдца путем засыпки их пахотным слоем почвы. Протяженность полевых дорог уменьшена наполовину, и все они были засыпаны песком и щебнем, что дало возможность чаще вывозить урожай с полей за счет качества дорог.

Таким образом, водохозяйственный комплекс хозяйства «Рассвет», как УНПЦ «Мелиорация-урожай», является ярким примером того, как может быть эффективно решена задача водорегулирования осушаемых земель на основе соответствующих конструктивных решений с учетом множества изменчивых природно-агроэкологических условий реального объекта.

12.4. Действующие гидромелиоративные системы Полесья Украины

Полесье является своеобразным ландшафтным регионом Восточно-Европейской равнины. Оно занимает северную часть Украины, часть Белоруссии, России и Польши. Его возникновение, главным образом, обусловлено палеогеографическими условиями антропогенного периода. Для Полесья характерны низинный рельеф, построенный преимущественно на песчаных и супесчаных отложениях, умеренно континентальный климат, значительная обводненность, густая речная сеть с широкими долинами, господство редких видов дерново-подзолистых и болотных почв, занятых хвойно-широколиственными лесами, лугами, болотами и переувлажненными землями.

Осушенные земли использовались в основном для кормопроизводства, льноводства и картофелеводства. Коренное улучшение естественных кормовых угодий, создание долголетних культурных пастбищ, максимальное насыщение улучшенных земель сидератами и зернобобовыми культурами, многолетними и однолетними травами способствовали высокоинтенсивному развитию животноводства, увеличению производства молока, мяса и продуктов их переработки.

Полесье Украины включает в себя преимущественно Волынскую, Ровенскую, Житомирскую, Киевскую и Черниговскую области. Часть территории этих областей, входящих в зону Полесья Украины, колеблется от 36,39 до 80,55 %. Рассмотрим каждую из них подробнее.

Волынская область расположена в северо-западной части Украины и занимает территорию площадью 20,2 км², что составляет 3,5 % территории государства.

Земли, требующие проведения мероприятий по улучшению условий поверхностного стока, водно-физических свойств почв, защиты от затопления и подтопления вследствие избыточных атмосферных осадков и паводковых вод, составляют 845 тыс. га, или 42 % территории области. Указанные земли расположены в основном в северных районах области, где они занимают от 46 до 64 % их территорий. В этих районах под производство сельскохозяйственной продукции использовались повышенные малоконтурные участки как островки, расположенные среди болотных массивов.

Основными физико-географическими особенностями Волынского Полесья, которые отличают его от других полесских областей, стало наличие меловых пород, которые залегают под четвертичными отложениями, значительное развитие ледниковых форм рельефа (Волынская моренная прядь), наличие карста (озерные котловины, воронки и др.), широкое развитие долинных ландшафтов, более теплый и влажный климат, чем в других полесских физико-географических областях, значительная распространенность болот и заболоченных земель, большая лесистость, которая достигает 45 % всей площади области.

В территориальном распределении ландшафтов наблюдается определенная закономерность. На севере области, в верховьях Припяти и на ее притоках, распространены молодые природно-территориальные комплексы – пойменные лугово-болотные ландшафты. Ширина поймы Припяти в среднем здесь составляет 3–5, а местами до 10 км. Она имеет два уровня: низкий, с высотами 0,5–2 м над уровнем воды в русле, и высокий – 2–3 м, который заливается водой не каждый год. Здесь преобладают луговые урочища с разнотравно-злаковым травостоем. Значительные площади заняты болотами и заболоченными землями, особенно в поймах низкого уровня. Часто встречаются старицы, озера, протоки и густая сеть остатков меандр. На прирусловых урочищах распространены пески, занятые кустарниками, а центральные части пойм покрыты лугами, которые используют под сенокосы. Поймы высокого уровня используют под овоще-огородные культуры, особенно после проведения мелиоративных мероприятий. Доля территории Волынской области, входящая в зону Полесья Украины, составляет 78,39 %.

Из природных богатств Волынского Полесья важнейшими являются земельные, водные, лесные, минерально-сырьевые и рекреационные ресурсы. С целью улучшения земель здесь проведены значительные мелиоративные мероприятия. Следует отметить, что не все они достигли желаемых результатов. Реки, озера и подземные воды используются для водоснабжения и с рекреационной целью. Общая площадь лесов Волынского Полесья превышает 2300 тыс. га. На боры приходится около 23 %, субори – 47 %, сугрудки – более 21 %, груды – 3 %. Из полезных ископаемых используется минеральное сырье для строительных материалов – мергель, мел, глины, пески и, особенно, базальты, а из горючих – торф.

В таблице 12.6 представлена обобщенная характеристика мелиоративных фондов Волынской области.

В качестве примера действующей гидромелиоративной системы в полесском регионе Волынской области представлена эталонная [1 и др.] *Коморовская осушительно-увлажнительная система* (рис. 12.16).

Основные показатели мелиоративных фондов Волынской области

№ п/п	Название показателей	Единицы измерения	Всего	В том числе:	
				межхозяйственного значения	внутрихозяйственного значения
1	Общая площадь осушенных земель	тыс. га	416,6	-	416,6
	в том числе полностью мелиоративно подготовленных земель	тыс. га	363,8	-	363,8
2	Осушено закрытым (материальным) дренажем	тыс. га	237,1	-	237,1
	в том числе: гончарным	тыс. га	236,6	-	236,6
	пластмассовым	тыс. га	0,5	-	0,5
3	Площадь систем с двусторонним регулированием водного режима	тыс. га	156,9	-	156,9
4	Площадь осушения с механическим водоподъемом (польдеры)	тыс. га	47,9	-	47,9
5	Площадь осушения с кротовым дренажем	тыс. га	-	-	-
6	Протяженность отрегулированных водоприемников	км	1180,10	1171,3	8,8
7	Протяженность открытой сети каналов	км	17316,60	3431,6	13885,0
	в том числе: магистральных и других проводящих каналов	км	10044,6	3005,4	7039,2
	оградительных (нагорных, ловчих) каналов	км	408,8	11,1	397,7
	регулирующих каналов	км	6863,3	415,2	6448,1
8	Протяженность закрытой осушительной сети	км	119257,4	98,4	119159,0
	в т. ч. по назначению: собиратели (коллекторы)	км	20027,2	12,4	20014,8
	осушители (дрены)	км	99230,2	86,0	99144,2
	По материалу: гончарный	км	119033,6	98,4	118935,2
	пластмассовый	км	223,8	-	223,8
9	Протяженность защитных валов (дамб)	км	360,0	288,0	72,0
10	Протяженность эксплуатационных дорог	км	805,1	603,4	201,7
11	Балансовая стоимость осушительных систем	млн грн.	1199,7	311,97	887,76

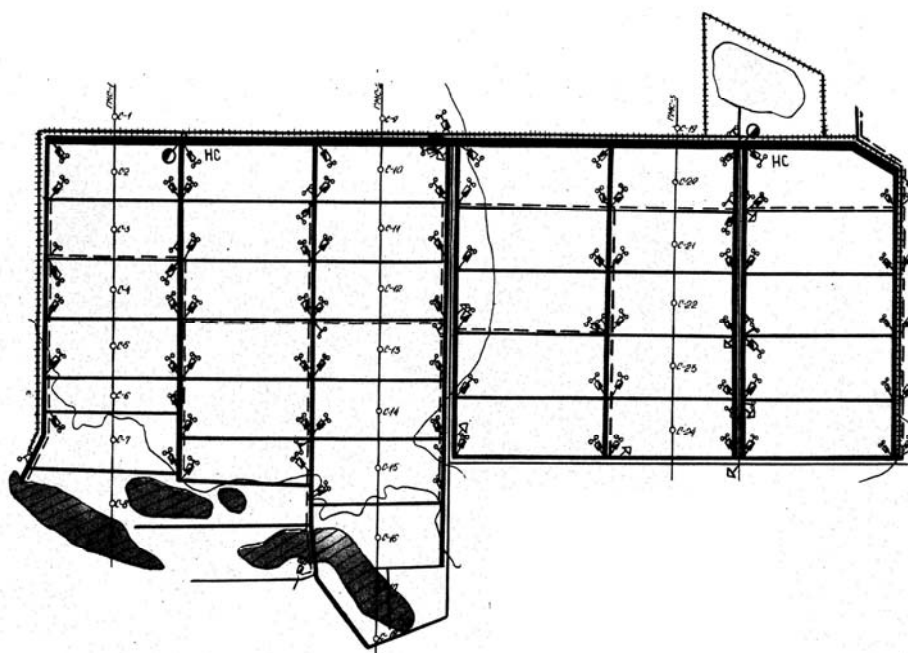


Рис. 12.16. Коморовская осушительно-увлажнительная система

Коморовская ОУС размещена на правобережной пойме р. Припять и занимает площадь 3,9 тыс. га. Система польдерная (механический водоподъем). На системе согласно проекту построены 26,3 км дамб обвалования, 3 насосные станции, 23,1 км автодорог, в том числе с твердым покрытием 16,8 км, 114 км каналов, 1472 км проводящей и регулирующей сети, 88 шлюзов-регуляторов, 22 трубчатых переездов, 679 колодцев-регуляторов и др. Источником воды для увлажнения выращиваемых сельскохозяйственных культур является наливное водохранилище площадью 197 га. Осушительная и увлажнительная проводящая сеть работают раздельно.

Коморовская ОУС входит в зону обслуживания Шацкого межрайонного управления водного хозяйства (МУВХ) (рис. 12.17), которое также является уникальным объектом деятельности, поскольку объединяет и технически обслуживает 20 осушительных систем на общей площади 54,3 тыс. га, на которых 490,5 км каналов, 331 шт. гидротехнических сооружений, 13,0 км защитных дамб, 135,3 км дорог, 4 насосные станции находятся на балансе и эксплуатируются управлением. В зоне деятельности Шацкого МУВХ протекает 20 рек протяженностью 382 км, находится 48 озер общей площадью 6937,4 га, 46 прудов площадью 363,7 га. Управление принимает участие в строительстве природоохранных объектов, в восстановлении и оформлении природных источников (родников) на территории Любомльского и Шацкого районов.

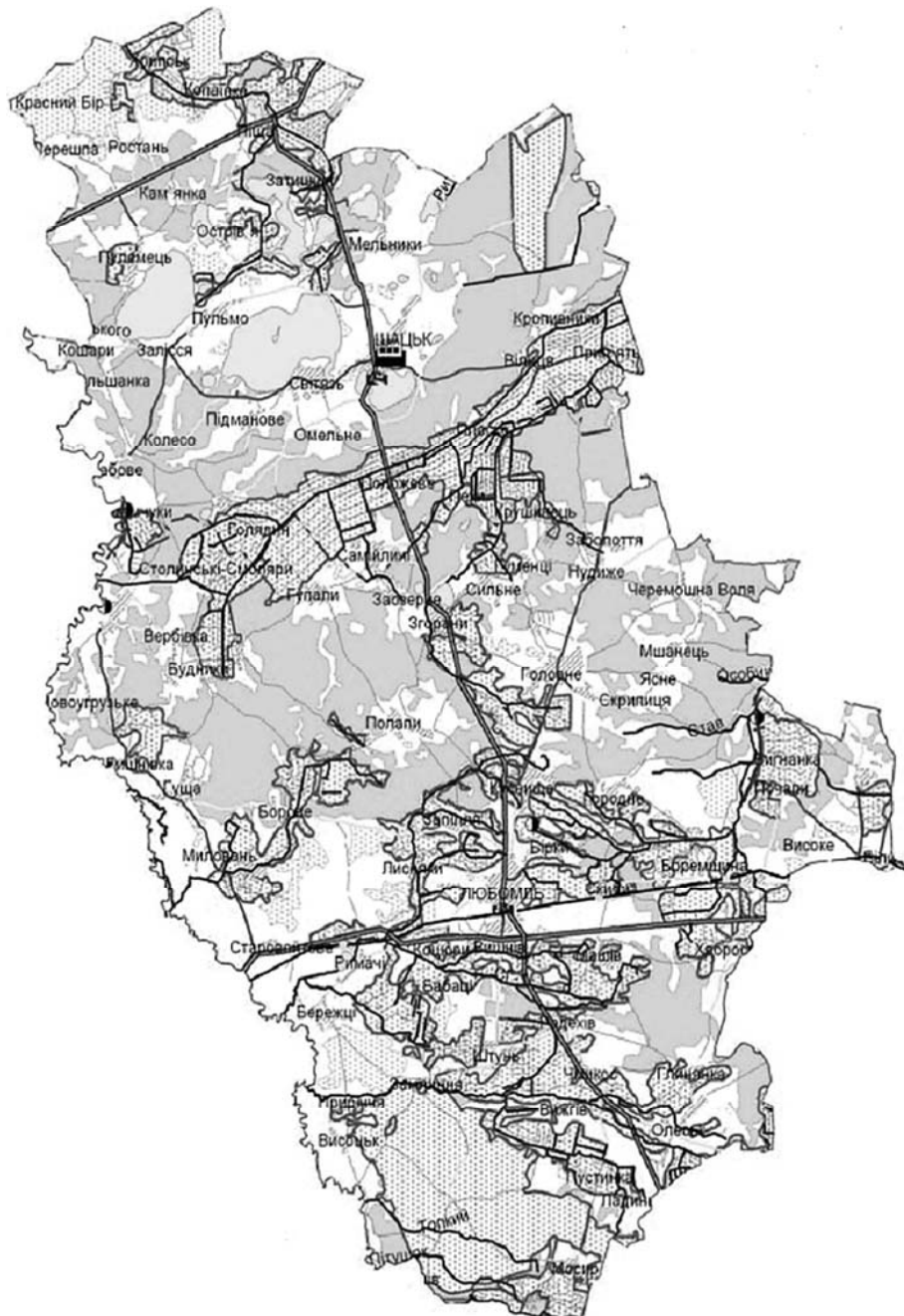


Рис. 12.17. Комплекс осушительных систем в зоне обслуживания Шацкого межрайонного управления водного хозяйства

Также на территории управления размещен Шацкий национальный природный парк, который является уникальной экосистемой озерно-болотно-лесных комплексов, наибольших в Европе. Парк был создан с целью сохранения, развития и рационального использования уникальных естественных условий в 1983г. на базе уже существующих ландшафтных заказников Шацкого района. Территория Шацкого национального парка – одна из наибольших озерных систем Европы, поскольку на ней расположено свыше 30 озер разного происхождения. Кроме этого, озеро Свитязь является наибольшим озером естественного происхождения Украины, длина его составляет свыше 9,2 км, а ширина 4 км. Равного по глубине оз. Свитязь в Украине нет, максимальная глубина озера достигает около 60 м.

Болотная система парка представлена преимущественно мезотрофными и эвтрофными осоковыми болотами, встречаются здесь и нетипичные для этого края олиготрофные болота.

Леса в заповеднике занимают более 51 % территории, а это около 27 450 га, из которых подавляющее большинство высокие хорошо сомкнутые сосновые леса, остальные – это представители смешанных дубово-сосновых и лещиновых лесов. Флора также богата дарами природы, такими как земляника, ежевика и более 70 видов грибов. Неприкосновенность территории и уникальные природные условия заповедника позволили активно развиваться типичным представителям фауны полесского края. Среди них лось европейский, кабан дикий, заяц-русак, белка обыкновенная и др.

Ровенская область расположена в северо-западной части Украины. Территория – 20,1 тыс. км². Протяженность с запада на восток – 130 км, с севера на юг – 210 км. По административно-территориальному делению она включает 16 районов, 4 города областного и 7 районного подчинения.

Таблица 12.7

Основные показатели мелиоративных фондов Ровенской области

№ п/п	Название показателей	Единицы измерения	Всего	В том числе	
				межхозяйственного значения	внутрихозяйственного значения
1	Общая площадь осушенных земель	тыс. га	390,4	-	390,4
		количество	107180	-	107180,0
	в том числе				
	- государственные предприятия	тыс. га	38,04	-	38,0
		количество	42	-	42,0
	- частные формирования	тыс.га	51,99	-	52,0
		количество	137	-	137,0
	- фермерские хозяйства	тыс. га	4,03	-	4,0
		количество	131	-	131,0
	- владельцы земли	тыс. га	217,58	-	217,6
		количество	106844	-	106844,0
	- другие	тыс. га	78,76	-	78,8
		количество	26	-	26,0
2	Площадь земель на м/г о/с.	тыс.га	369,20	-	369,2
		количество	217	-	217,0
3	Из общей площади (пункт 1)				
	- осушено гончарным дренажем	тыс.га	275,00	-	275,0
	- двухсторонним регулированием	тыс.га	224,3	-	224,3
4	Площадь с механическим водоподъёмом	тыс.га	48,8	-	48,8
5	Отрегулированные водоприемники	км	1127,9	1122,7	5,2
7	оградительных (нагорных, ловчих) каналов	км	600,5	149,8	450,7
8	Регулирующие каналы	км	6004,9	383,5	5621,4
9	Закрытая сеть, всего:		124195,3	316,3	123879,0
	- коллекторы	км	18474,1	52,5	18421,6
	- дрены	км	105721,2	263,8	105457,4
10	Протяженность защитных дамб	км	902,3	722,7	179,6
11	Водохранилища	шт.	10	7	3,0
12	Ставки, водоемы	шт.	81	8	73,0
13	Балансовая стоимость мелиоративных фондов	млн грн	781,1	263,7	517,4

Ровенщина богата на природные ресурсы. Гидрологическая сеть представлена 171 рекой длиной свыше 10 км каждая, 52 озерами с площадью водного зеркала свыше 1 га, 13 водохранилищами и свыше 500 прудами. Это создает благоприятные условия для комплексного использования водных ресурсов области, в том числе развития малой энергетики, рыбного хозяйства, туризма. Лесной фонд области составляет 853 тыс. га, в том числе покрытые лесом земли – 794 тыс. га, общий запас дерева составляет больше 100 млн м³.

Лесами покрыто 40 % территории Ровенской области, что в 2,6 раза больше среднего показателя по Украине. В области ведется активная работа по восстановлению лесного запаса, стимулируется углубленная переработка древесины и комплексное ее использование.

В больших масштабах мелиорация земель в области развернулась в послевоенные годы. Сначала она велась в основном вручную, с массовым участием колхозников, рабочих, служащих, причем по упрощенной документации, а то и без нее. В области мелиорировано 390,4 тыс. га земель. Из общей площади мелиоративных систем гончарным дренажем осушено 271,1 тыс. га. С двусторонним регулированием водно-воздушного режима насчитывается 234,3 тыс. га. Золотым фондом мелиоративных земель являются польдерные системы на площади 56,3 тыс. га. В таблице 12.7 дана обобщенная характеристика мелиоративных фондов Ровенской области.

Доля территории Ровенской области, которая входит в зону Полесья Украины, равна 62,3 %.

В качестве примера действующих мелиоративных систем в полесском регионе Ровенской области представлены следующие.

Осушительная система «Иква» (рис. 12.18) относится к эталонным системам с 1987 г. [11 и др.].

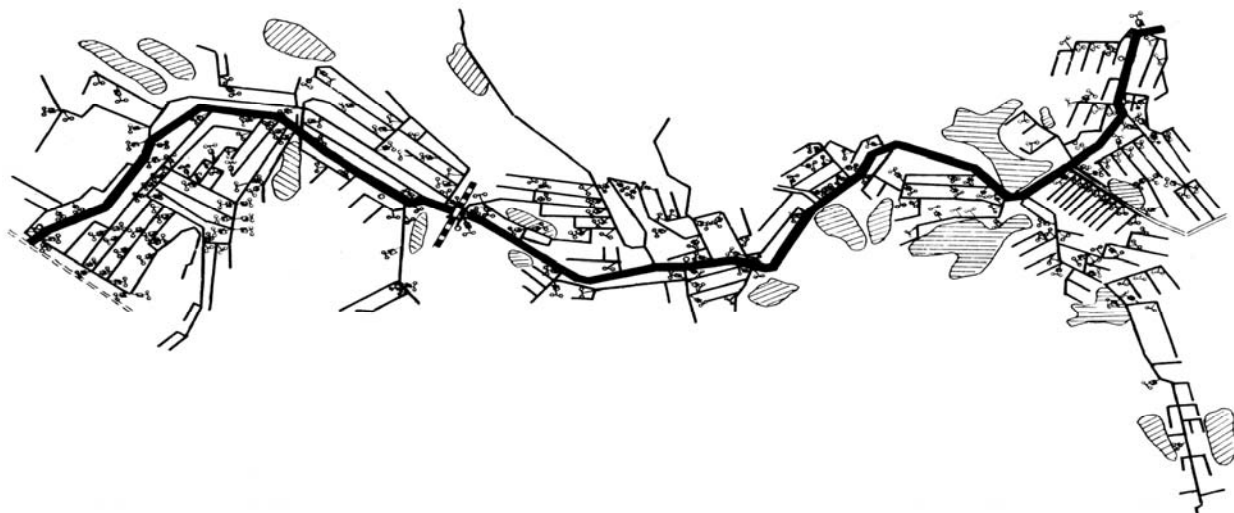


Рис. 12.18. Схема осушительной системы «Иква»

Она расположена в пределах Дубенского района на границе Ровенской и Тернопольской областей в пойме р. Иква. Осушение проводится открытой сетью каналов в сочетании с гончарным и вертикальным дренажем. Технические параметры системы позволяют осуществлять двустороннее регулирование водного режима на 87 % площади осушения. Проведение увлажнения затруднено недостаточной водностью р. Иквы и отсутствием водохранилищ. На системе есть 5 участков польдерного осушения. Уровень эксплуатации системы удовлетворительный. Площадь нетто системы 9 тыс. га, площадь сельскохозяйственных угодий 7,7 тыс. га, площадь гончарного дренажа 5,1 тыс. га. Рельеф территории равнинный с незначительным уклоном к р. Иква. В геологическом строении принимают участие четвертичные и верхнемеловые породы. Отложения верхнего мела – это белый прочный мел с прослойками мергелей. Глубина залегания мела 9–13 м. Четвертичный комплекс представлен флювиогляциальными, аллювиальными и современными болотными отложениями.

Флювиогляциальные породы залегают в повышенной части массива и представлены мелкозернистыми песками. Эолово-делювиальные породы залегают на склонах долины и представляют собой лессовидные супеси и суглинки мощностью от 2 до 6 м. Водоносные горизонты развиты в четвертичных и верхнемеловых отложениях. Четвертичный водоносный горизонт является единственным комплексом. Воды сульфатно-натриевые, пресные. Меловой водоносный горизонт имеет напор от 0,1 до 2–3 м и связан с четвертичным. Тип водного питания земель атмосферно-почвенно-напорный.

Осушительная система Сарненской научно-исследовательской станции (НИС) (рис. 12.19).

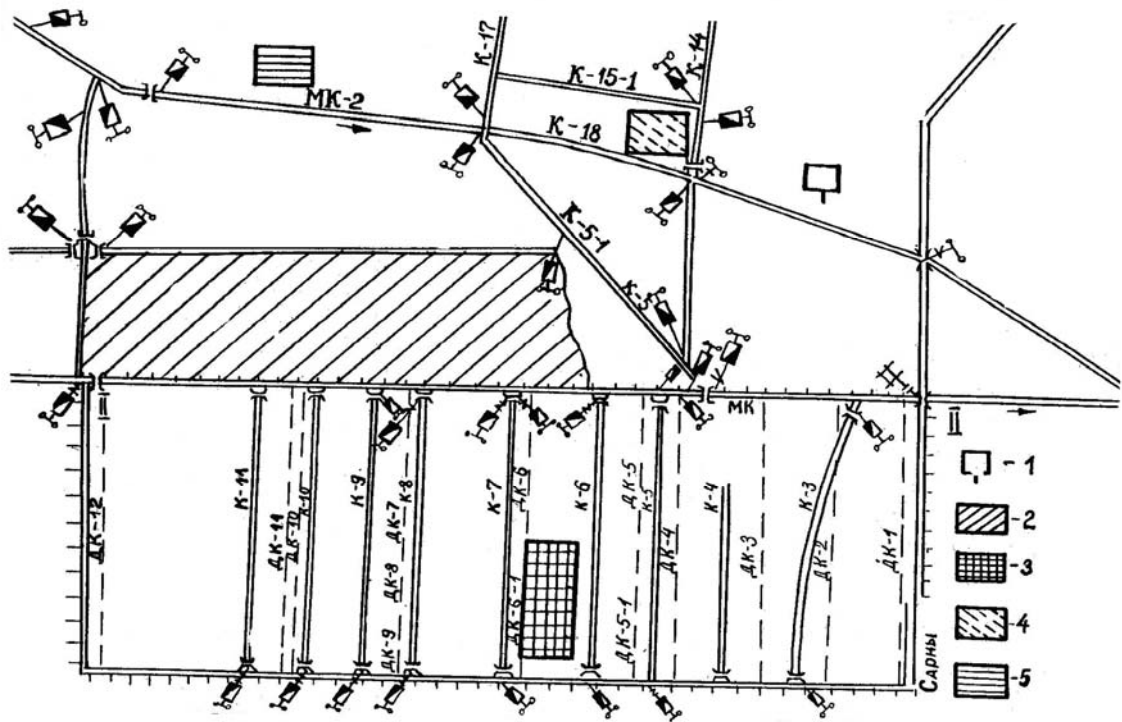


Рис. 12.19. Схема осушительной системы Сарненской НИС

Сарненская НИС создана решением Волынской губернской земской управы от 26 октября 1912 г. во исполнение постановления II Южно-Русского мелиоративного съезда, который состоялся в Киеве 15–20 января 1912 г. сначала как Волынское болотное опытное поле, затем – Сарненская болотная исследовательская станция.

Станция создана с целью научного обеспечения развития водного хозяйства, сельскохозяйственных мелиораций и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель на Полесье, внедрения в производство научных разработок станции, Института водных проблем и мелиорации НААН и учреждений Национальной академии аграрных наук Украины для сохранения, воспроизводства и использования водных и земельных ресурсов региона.

Сарненская НИС размещена в междуречье Случи и Горыни, относится к осушительной системе «Чемеро-Радужная» общей площадью 4500 га. Площадь Сарненской НИС составляет 500 га. Осушение осуществляется открытой сетью каналов с общим сбросом дренированных вод в р. Случь. Закрытая дренажная сеть на площади 96 га включает в себя пластмассовый дренаж, гончарный дренаж на муфтах, гончарный дренаж из перфорированной трубки, дренаж из стеклопластика, обычный гончарный дренаж. Глубина закладки дрен 0,7–1,2 м. Расстояние между дренами 5–15 м.

Одним из главных направлений работы станции стало усовершенствование приемов освоения и использования мелиорированных земель. Это прежде всего разработка мероприятий по высокопроизводительному использованию торфяных почв, изучение и внедрение системы севооборотов, возделывания и удобрения разных типов осушенных земель, усовершенствование технологий выращивания основных сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях.

Здесь разработаны и внедрены методы программирования, прогнозирования и контроля за ходом формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур. В значительном объеме проведены исследования по разработке конструкций осушительно-увлажнительных систем, в том числе польдерных, на базе горизонтального и вертикального дренажа в сочетании с дождеванием и подпочвенным увлажнением. Разработаны методы определения элементов водного баланса и установлены границы оптимальной влажности для торфяных почв. Исследованы основные закономерности передвижения влаги, тепла, газов и питательных веществ в мелиорированных почво-грунтах, разработаны методы управления этими процессами.

Большое внимание в исследованиях станции отводится изучению влияния мелиораций на окружающую среду, сохранению плодородия и рациональному использованию торфяных почв, разработке типовых схем природоохранных мер на осушительно-увлажнительных системах в условиях Полесья.

На территории Ровенской области действует много польдерных систем, одна из которых – польдерная система «Бирки» (рис. 12.20).

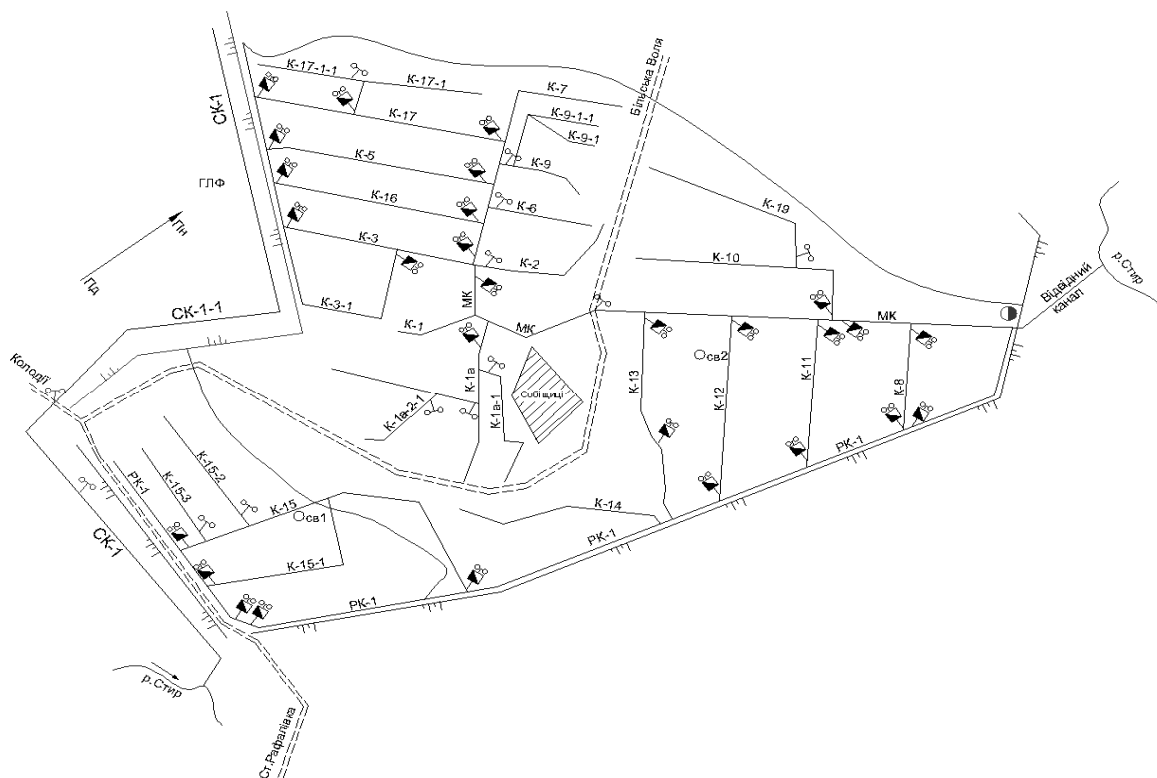


Рис. 12.20. Пolderная система «Бирки»

Станция была построена в 1978 г. Расположена в 32 км к западу от райцентра пгт. Владимирец и 19 км к югу от железнодорожной станции Рафаловка. Система «Бирки» площадью брутто 544,9 га и нетто 516,9 га расположена на землях соответственно Собищицкого (474,8 га) и Старорафаловского (70,1 га) сельских советов. Водоприемником системы служит река Стырь, которая на данном участке является типичной равнинной. Дамбы обвалования пolderа торфяные (частично могут подтапливаться в зависимости от водности года). Они защищают осушенные земли от затопления в течение всего года. Открытые каналы боковой сети собирают воду и отводят ее в проводящие каналы старшего порядка, которые, в свою очередь, подают ее в магистральный канал к насосной станции. В засушливые периоды вода из системы не откачивается, а остается для подпочвенного увлажнения. Отвод избыточной воды осуществляется электрифицированной насосной станцией и самотеком.

Техническая характеристика осушительной системы «Бирки»: гончарный дренаж проложен на площади 444 га; двустороннее регулирование возможно на площади 177,9 га; площадь пolderа с механическим водоотведением составляет 470 га; гидротехнические сооружения на открытой осушительной сети – 13 шт., в том числе шлюзы-регуляторы – 7 шт., трубчатые переезды – 5 шт., из них 2 шт. межхозяйственного значения, 1 железобетонный мост, который является межхозяйственным.

Характерной особенностью системы «Бирки» является то, что по конструктивному построению здесь есть возможность реализации практически всех основных технологий водорегулирования осушаемых земель: осушение с механической откачкой и систематическим дренажем, предупредительное шлюзование и подпочвенное увлажнение, также может быть применено орошение дождеванием.

Территория Житомирщины характеризуется разнообразными природными условиями: наличием полесских, лесостепных, лесолуговых ландшафтов, большим количеством рек, различными по составу почвами, в основном с низким естественным плодородием, большая часть которых переувлажнена и заболочена. Площадь области занимает 29,9 тыс. км², однако расположена в основном в Полесской зоне, что составляет 81 % ее территории. Удельный вес переувлажненных земель в северных районах достигает 48 %. Водное питание переувлажненных земель и болот осуществляется за счет чрезмерных атмосферных осадков, поверхностных, паводковых и грунтовых вод.

В настоящее время в области насчитывается 425 тыс. га мелиорированных земель, из них гончарным дренажем осушено 296,9 тыс. га, в том числе 188,1 тыс. га с двусторонним регулированием. Количество осушительных систем составляет 380. Протяженность каналов всех систем 13,6 тыс. км, в том числе внутривозвездных – 6,5 тыс. км. На этих каналах построено 13,2 тыс. гидротехнических сооружений, половина из которых на внутривозвездных системах. В таблице 12.8 представлена обобщенная характеристика мелиоративных фондов Житомирской области.

Основные показатели мелиоративных фондов Житомирской области

№ п/п	Название показателей	Единицы измерения	Всего	В том числе:	
				межхозяйственного значения	внутрихозяйственного значения
1	Общая площадь осушительных земель:	тыс. га	425,4	9,7	415,7
	в том числе:				
	государственные предприятия	тыс. га	7,2	-	7,2
		количество	12	-	12
	частные предприятия	тыс. га	139	-	139
		количество	301	-	301
	фермерские хозяйства	тыс. га	10,1	-	10,1
		количество	110	-	110
	владельцы земли	тыс. га	186,2	-	186,2
количество		56827	-	56827	
другие / в том числе земли водного фонда	тыс. га	89,9	9,7	80,2	
	количество	59	9	50	
2	Площадь осушенных земель на м/г осушительных систем	тыс.га	9,7	9,7	-
		количество	380	380	-
3	Из общей площади (п. 1)				-
	осушено закрытым дренажем	тыс. га	296,9	-	296,9
	построенные системы с двусторонним регулированием водного режима	тыс.га	188,1	-	188,1
4	Площадь осушения с механическим водоподъемом	тыс. га	0	-	-
5	Отрегулированные водоприемники	км	0	-	-
7	Ограждающие напорные и ловчие каналы	км	101,6	46,4	55,2
8	Регулирующие каналы	км	6893,7	908,6	5985,1
9	Закрытая осушительная сеть	км	161564,4	2,03	161562,37
	в том числе:				0
	коллекторы	км	21122,1	2,03	21120,07
	дрены	км	140442,3	0	140442,3
10	Протяженность защитных дамб	км	61,6	61,6	-
11	Водохранилища	шт.	4	4	-
12	Ставки, водоемы	шт.	61	61	-
13	Балансовая стоимость мелиоративных фондов	млн грн.	1497,3	565,75	931,60

В качестве примера действующей мелиоративной системы в полесском регионе Житомирской области приведена Глумчанская осушительная система (рис.12.21), которая является эталонной системой [11 и др.]. Она размещена в бассейне реки Уборть, включает долины небольших рек и водотоков. Система в виде открытых осушительных каналов была построена в 1959–1961 гг., а в 1977 г. реконструирована.

Водоприемниками системы являются: ручей Бровник (МК-2) длиной 12,8 км; правый приток реки Зленька (МК-3) длиной 2,5 км; главный канал (МК) длиной 7,5 км. Вдоль магистральных и межхозяйственных каналов с каждой стороны, для проводки эксплуатационных мероприятий, отводится граница отчуждения. Ширина ее не больше 10 м. На каналах построено 4 шлюза-регулятора. Протяженность каналов боковой сети составляет 100,1 км. Каналы боковой сети глубиной 0,8...3,0 м, шириной по дну 0,6...1,0 м и двойным закладыванием откосов.

Закрытая сеть – гончарный дренаж. Глубина закладки коллекторов 1,2...2,2 м, уклон от 0,002 до 0,02. Расстояние между дренами – 16...24 м.

Сельскохозяйственные угодья массива, который осушается, разделены двумя хозяйствами. В структуре посевов площади заняты под зерновыми, техническими и кормовыми культурами.

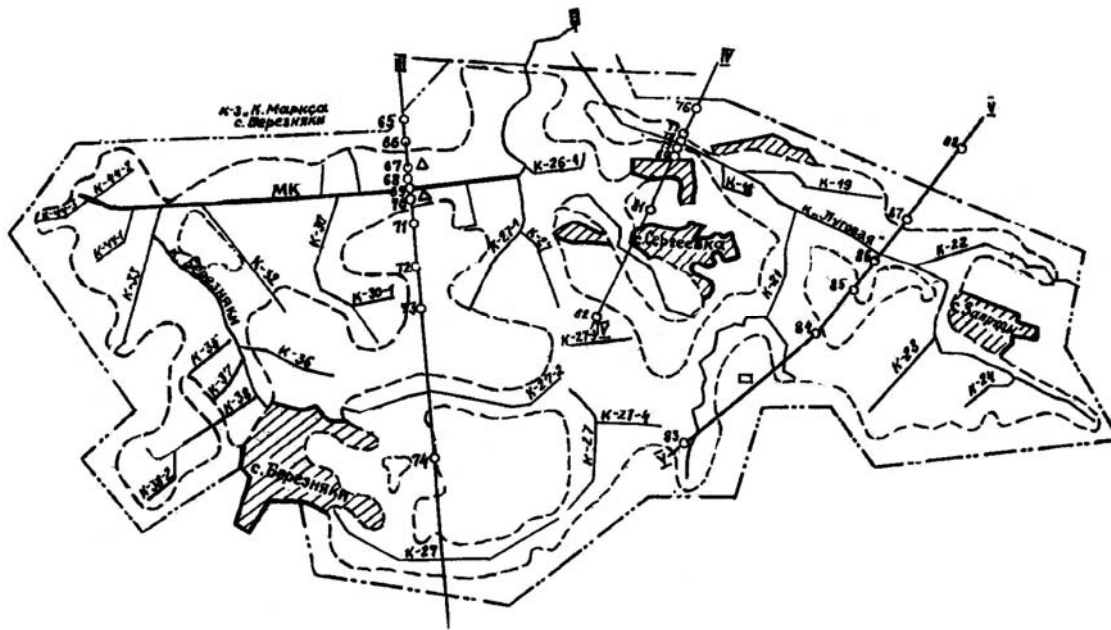


Рис. 12.21. Схема Глумчанской осушительной системы

Кишинская осушительно-увлажнительная система (рис. 12.22) является единственной в Украине и странах СНГ мелиоративной системой, управление которой осуществляется на основе гидроавтоматизации.

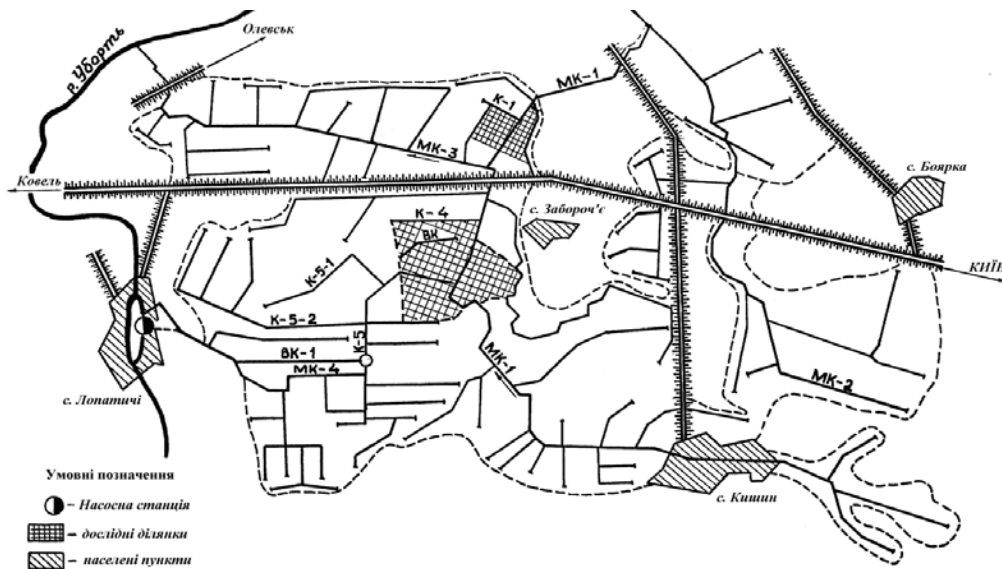


Рис. 12.22. План-схема Кишинской ОУС

Кишинская ОУС находится в бассейне р. Уборть, прилегающей к ее правому берегу. Территория системы представляет собой зандровую равнину на кристаллической основе. На докембрийских гранитах и гнейсах развиты пески и супеси флювиогляциального происхождения. В рамках системы выделяются два водоносных комплекса: 1) в четвертичных отложениях; 2) в зоне трещин докембрийских кристаллических пород и продуктов их разрушения. На глубине 10...15 м водоносные горизонты разделены водоупором, который образован каолинами коры выветривания. Водоупор не имеет сплошного распространения, кроме того, в нем есть мелкие геологические «окна». При наличии водоупора уровни дочетвертичного комплекса на 1...2 м ниже УГВ. В местах отсутствия водоупора уровни обоих водоносных горизонтов совпадают. Разгрузка водоносного комплекса осуществляется в долине р. Уборть с частичным перетоком в четвертичный водоносный комплекс. На земельном массиве с общим уклоном к р. Уборть развитый микрорельеф в форме замкнутых понижений. Почвенный горизонт состоит преимущественно из дерново-подзолистых и дерново-глеевых песчаных и супесчаных почв четырехслойной структуры с коэффициентами фильтрации $K_f = 5,5.. 0,1$ м/сутки. Участки для производственно-полевых исследований размещены в верхней и нижней частях системы вдоль магистрального канала МК-1.

Климатические условия данной территории умеренные с мягкими зимами и влажным летом. Среднегодовая температура воздуха 6,5 °С. Среднегодовое количество осадков 624 мм, а в период с апреля по октябрь – 382 мм. В теплые периоды года осадки выпадают как в виде затяжных, так и ливневых дождей. Суммарное испарение за год составляет 500 мм.

Эта система по рельефным, почвенным, водному питанию и другим показателям является типичной для Западного Полесья Украины. На землях Кишинской ОУС выращивают хмель, зерновые культуры, картофель, кормовую свеклу, многолетние травы и др.

Киевская область расположена на севере Украины, в бассейне среднего течения Днепра, главным образом на Правобережье. Поверхность области – бугристая равнина с общим наклоном к долине Днепра. Климатические условия этой части области имеют типичные полесские черты. Внутренние воды Киевского Полесья состоят из густой гидрографической сети рек, Киевского водохранилища, озер, болот, грунтовых и подземных вод.

Таблица 12.9

Основные показатели мелиоративных фондов полесской зоны Киевской области

№ п/п	Название показателей	Единицы измерения	Всего	В том числе:		
				межхозяйственного значения	внутрихозяйственного значения	
1	Общая площадь осушенных земель:	тыс.га	188,8	-	188,8	
	<i>земли зоны отчуждения ЧАЭС</i>	тыс.га	30,9	-	30,9	
	в т. ч.: государственные предприятия	тыс.га	4,9	-	4,9	
		количество	28,0	-	28,0	
	частные формирования	тыс.га	30,4	-	30,4	
		количество	118,2	-	118,2	
	фермерские хозяйства	тыс.га	25,4	-	25,4	
		количество	89,0	-	89,0	
	владельцы земли	тыс.га	24,9	-	24,9	
		количество	2372,0	-	2372,0	
	другие	тыс.га	25,3	-	25,3	
		количество	34,0	-	34,0	
2	Площадь осушенных земель на м/г осушительных системах	тыс.га	76,1	-	76,1	
		количество м/г систем	56,0	-	56,0	
3	Из общей площади (п.1)		0,0	-	-	
	осушено закрытым дренажем	тыс.га	64,7	-	64,7	
	построены системы с двусторонним регулированием водного режима	тыс.га	42,2	-	42,2	
4	Площадь осушения с механическим водоподъёмом	тыс.га	15,4	-	15,4	
5	Отрегулированные водоприемники	км	388,2	388,2	-	
7	Ограждающие нагорные и ловчие каналы	км	-	-	-	
8	Регулирующие каналы	км	1737,5	416,7	1320,8	
9	Закрытая осушительная сеть, в т.ч.:	км	21879,5	4,3	21875,2	
		коллекторы	км	5288,8	4,3	5284,6
		дрены	км	27686,0	-	27686,0
10	Протяженность защитных дамб	км	68,6	43,9	24,7	
	устья	шт	11498,0	48,0	11450,0	
	другие сооружения	шт	225,0	30,0	195,0	
11	Водохранилища	шт	16,0	7,0	9,0	
12	Ставки, водоемы	шт	726,0	12,0	714,0	
13	Балансовая стоимость мелиоративных фондов	млн грн.	187,68	163,3	24,31	

Основные типы почв – различные виды дерново-подзолистых, они являются господствующими, а также торфяно-болотные и серые лесные на лессовых островах. Среди естественной растительности главную роль играют сосновые, грабово-дубово-сосновые, ольховые леса, кустарники, луговая и болотная растительность. Леса и кустарники занимают около 50 %, луга – 2,2, болота и заболоченные земли – 3,2 % территории. Распашка достигает 36,8 %. Доля территории Киевской области, входящая в зону Полесья Украины, составляет 37,02 %.

Обобщенная характеристика мелиоративных фондов Киевской области с учетом зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) приведена в таблице 12.9.

В качестве примера действующей мелиоративной системы в полесском регионе Киевской области приведены следующие.

Ирпенская осушительно-увлажнительная система (рис. 12.23) является сложным водохозяйственным комплексом (табл. 12.10), который обслуживает 28 хозяйств-землепользователей; протяженность системы превышает 130 км; на площади 6758 га предусмотрено подпочвенное увлажнение подпором уровней воды в р. Ирпень (она же водоприемник) с помощью 13 русловых шлюзов с дальнейшим распределением воды по каналам боковой сети в коллекторно-дренажную сеть. Вода для увлажнения поступает из Корнинских водохранилищ в верховье системы, а в устьевой части р. Ирпень она перекачивается насосной станцией в Киевское водохранилище по польдерному принципу.

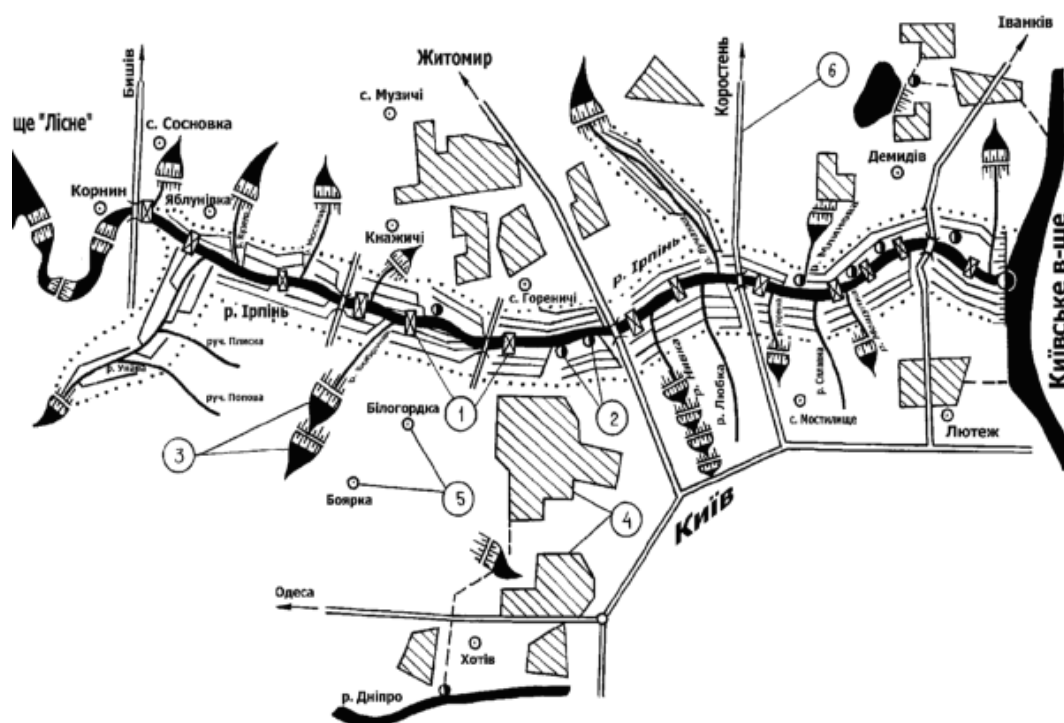


Рис. 12.23. Схема Ирпенской осушительно-увлажнительной системы

Управление системой и организация водорегулирования на ней значительно усложняются из-за наличия многочисленных боковых притоков по трассе магистрального канала, системы водоемов и водохранилищ, насосных станций, которые предназначены для подачи воды на орошение земель, прикрепленных к Ирпенской ОУС на площади около 4 тыс. га (рис. 12.23).

Таблица 12.10

Техническая характеристика Ирпенской ОУС

Элементы системы	Всего	В том числе:	
		межхозяйственного значения	внутрихозяйственного значения
Водоприемник (р. Ирпень), км	132,5	132,5	–
Каналы боковой сети, км	418,5	167,3	251,2
Русловые шлюзы, шт.	13	13	–
Шлюзы-регуляторы на боковой сети, шт.	754	314	440
Насосные станции, шт.	12	–	12
Водоохранилища, шт.	2	2	–
Объем водохранилищ, млн.м ³	17,6	17,6	–

Очевидно, что эффективное управление водорегулированием и водопользованием в рамках такого сложного мелиоративного объекта, которым является Ирпенская ОУС, возможно только на плановой основе. Поэтому учеными НУВХП именно здесь, вместе с долговременными и широкомасштабными научными исследованиями, которые проводили ИВПиМ и другие структурные подразделения НААН Украины на протяжении 80-х годов прошлого века, были разработаны структура, принципы, методические и программные средства, а также организационно-технические мероприятия по созданию системы комплексной автоматизации планового водорегулирования осушаемых земель (СКАПВОС) в целом [35 и др.]. Такая система управления включает в себя разработку типичных планов водорегулирования на основе долгосрочного прогноза, создание и функционирование информационно-советующих систем (ИСС) ОУС на основе краткосрочного прогноза. Это позволяет установить сроки и величины необходимых расходов воды для соответствующих способов водорегулирования относительно составляющих элементов (мелиорированных полей, регулирующих и подпорных гидротехнических сооружений, каналов, трубопроводов, насосных станций и т. п.) и системы в целом по всему спектру типовых схем погодных условий расчетных по тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации. Задача выполняется с помощью построения и реализации соответствующих балансовых моделей, которые позволяют получить дифференцированную и интегральную оценку условий водопользования на объекте во времени и пространстве.

Черниговская область – это физико-географическая область зоны смешанных лесов, которая простирается от Днестра на западе до ее восточной границы, проходящей вблизи устья р. Ревностная (бассейн р. Снов), к западу от пгт. Холмы и Понорница, с. Оболонье, к востоку от пгт. Карп и к западу от р. Кролевец. Область расположена в пределах Днестровско-Донецкой впадины, что в значительной мере обусловило ее физико-географические особенности.

Климат Черниговской области можно охарактеризовать как умеренно континентальный, со значительным увлажнением на протяжении года, большой относительной влажностью и слабыми ветрами. По сравнению с западными областями Черниговское Полесье отличается большей амплитудой годовых температур, низкими зимними температурами, большей продолжительностью периода со снежным покровом. Средняя годовая сумма осадков — 500–610 мм.

Заболоченность Черниговской области достаточно велика. Площадь торфяных болот составляет более 45 % всей территории. Почти все болота относятся к низинному типу. Переходные и верховые болота встречаются очень редко. Крупнейшими болотами являются Замглай (8334 га), Остерское (10 558 га), Сновское (9400 га), Смолянка (4288 га), Дочь-Гали (3600 га), Выдра (2458 га) и Парис (2340 га).

Большинство болот мелиорированы и превращены в сельскохозяйственные угодья. В почвенном покрове преобладают дерново-подзолистые почвы, значительные площади заняты болотными и серыми лесными почвами; последние наиболее плодородны. Особенностью природных условий Черниговского Полесья является распространение местами засоленных почв (луговые содовые солончаки и солонцы). Эти почвы приурочены к лессовым «островам» на террасах с близким к поверхности УГВ. В долинах Десны и Остра развились луговые солонцеватые и осолоделые почвы.

Лесистость Черниговской области наименьшая по сравнению с другими полесскими областями и составляет 15...18 %. Основные площади заняты сосновыми и дубово-сосновыми лесами. Менее распространены липа, клен, вяз. В области проходит восточная граница сплошного распространения граба. Наибольшие лесные массивы сохранились в междуречье Днестра – Десны, на левобережной террасе Замглая, на междуречье Снова – Десны.

Большие площади занимают пойменные и суходольные луга, которые являются значительной кормовой базой. Болотные массивы покрыты такими влаголюбивыми растениями, как различные осоки, камыш, рогозовики, сытники и др.

Земельные угодья области распределяются так: пахотные земли занимают свыше 42 %, сады и ягодники – 0,7 %, покосные луга – 15,5 %, выгоны и пастбища – 6,5 %, леса и кустарники – 21 %, болота – 4,5 %. Доля территории Черниговской области, которая входит в зону Полесья Украины, составляет больше 70 %. Обобщенная характеристика мелиоративных фондов Черниговской области приведена в таблице 12.11.

В качестве примера действующей мелиоративной системы в полесском регионе Черниговской области приведена эталонная мелиоративная система [1 и др.] с двойным регулированием водного режима осушаемых земель «Кучиновка» (рис. 12.24). Она размещена в Щорсовском районе Черниговской области, пойме одного из притоков р. Снов. Почвенный покров на системе представлен торфяными (47 % площади) и минеральными почвами. Мощность торфа от 0,5 до 2,5 г. Дерновые почвы занимают 42 % площади и распространены на повышенных элементах рельефа.

Основные показатели мелиоративных фондов Черниговской области

№ п/п	Название показателей	Единицы измерения	Всего	В том числе	
				межхозяйственного значения	внутрихозяйственного значения
1	Общая площадь осушенных земель	тыс. га	299,818	299,818	-
	в т. ч. полностью мелиоративно подготовленных	тыс. га	269,724	269,724	-
	Осушено закрытым (материальным) дренажем	тыс. га	167,389	167,389	-
	в том числе: гончарным	тыс. га	163,841	163,841	-
	пластмассовым	тыс. га	2,935	2,935	-
	бетонным	тыс. га	0,613	0,613	-
3	Площадь систем с двусторонним регулированием водного режима	тыс. га	240,851	240,851	-
4	Площадь осушения с механическим водоподъемом	тыс. га	13,210	13,210	-
5	Площадь осушения с кротовым дренажем	тыс. га	-	-	-
6	Протяженность отрегулированных водоприемников	км	713,93	14,39	699,54
7	Протяженность открытой сети каналов	км	7280,51	4061,76	3218,75
	в т.ч. магистральные и другие ведущие каналы	км	3955,57	1335,54	2620,03
	оградительные (нагорные и ловчие) каналы	км	81,86	42,57	39,29
	регулирующие каналы	км	3243,08	2683,65	559,43
8	Протяженность закрытой осушительной сети	км	54494,99	54447,69	47,30
	в т.ч по назначению: собиратели (коллекторы)	км	9755,92	9748,92	7,00
	дрены	км	44739,07	44698,77	40,30
	по материалу: гончарный	км	54108,69	47602,09	40,30
	пластмассовый	км	370,70	370,70	0,00
	бетонный	км	15,60	15,60	0,00
9	Протяженность защитных валов (дамб)	км	140,66	12,72	127,94
10	Водомерное оборудование	шт.	110	26	84
	количество створов	шт.	181	164	17
	количество буровых скважин	шт.	1911	1789	122
11	Балансовая стоимость осушительных систем	млн грн.	795,31	567,05	228,25

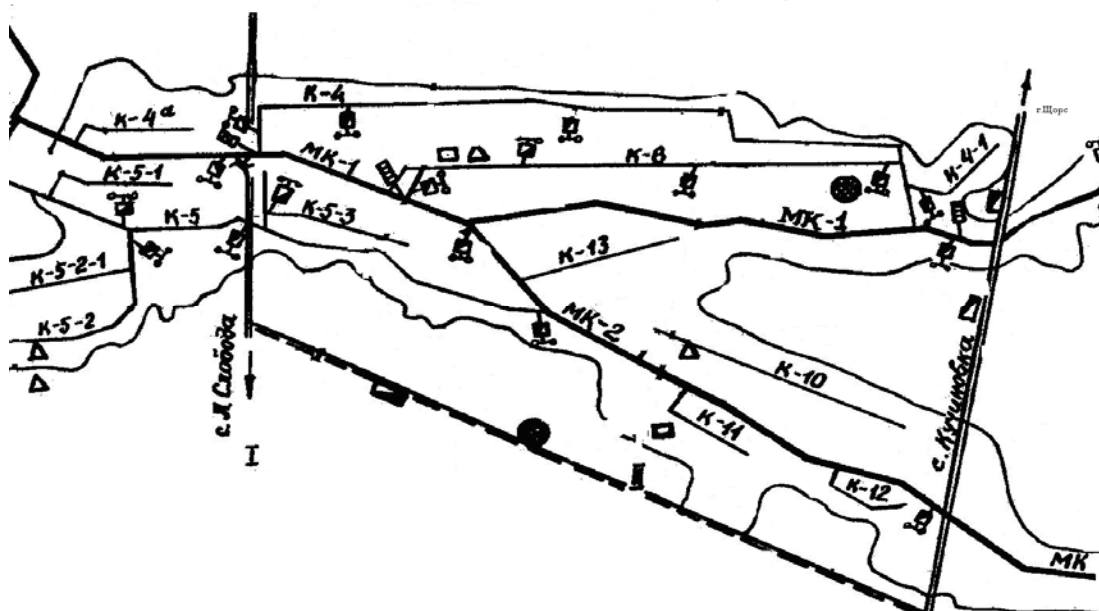


Рис. 12.24. Система с двойным регулированием водного режима осушаемых земель «Кучиновка»

Осушительная система построена в 1971–1973 гг. как система двустороннего действия, которая должна обеспечивать осушение во влажные годы и увлажнения корнеобитаемого слоя почвы в засушливые периоды. Общая площадь увлажняемых земель составляет 1872 га, в том числе гончарным дренажем – 511 га. Двойное регулирование водно-воздушного режима почв осуществляется на площади 1758 га за счет заakuмулированного местного стока путем шлюзования каналов и последующей инфильтрации воды из каналов и дрен.

Массив, подлежащий осушению, делится на две части по способам понижения УГВ. Нижняя часть осушаемого массива от р. Снов до дороги Слобода – Н. Млыны в весенний период затапливается паводковыми водами р. Снов. На этом участке построена сеть открытых каналов через 250 м, которая должна обеспечивать норму осушения 0,6 м до начала мая месяца.

На остальной части массива, где основными источниками водного питания являются почвенные воды, поступающие из грунтовых вод и атмосферных осадков, снижение УГВ предполагалось путем устройства системного гончарного дренажа. Вся система каналов и закрытых дрен самотечная со сбросом воды в магистральный канал, который впадает в р. Снов.

Рассмотренные принципы создания и функционирования гидромелиоративных систем на осушаемых землях Западного Полесья, а также колоссальный опыт их реализации приводят к выводу о том, что дальнейшее развитие мелиоративной системы на современном этапе и необходимость ее рассмотрения как сложной природно-технической системы по иерархической и технической структуре ее построения позволяют формулировать и решать задачу по обоснованию проектных решений на эколого-экономической основе. В соответствии с этим согласно Л. М. Рексу [34 и др.] иерархическое построение и структурный состав систем имеют важное значение при формулировании задач по определению их параметров, типов и конструкций, поскольку необходимо знать, какие из них необходимо использовать для формирования задач по оптимизации параметров систем и повышению их эффективности.

Вместе с тем для определения параметров систем, которые находятся на разных иерархических уровнях, необходим анализ возможности применения экономико-математического моделирования и выбора критериев оптимизации параметров гидромелиоративных, мелиоративных систем, а также системы производства продукции на мелиорированных землях.

Таким образом, окончательный выбор способов и схем водорегулирования, типов и конструкций ГМС на осушаемых землях может быть сделан только на основании ТЭО возможных альтернативных вариантов проектных технических и технологических решений с помощью прогнозно-оптимизационных расчетов на долгосрочной основе по соответствующим моделям.

Литература

1. Алексеевский В. Е. Мелиорация земель Полесья и вопросы окружающей среды. – Киев: Знание, 1978. – 20 с.
2. Алпатьев С. М. Зрошення і осушення земель. – Київ: Урожай, 1971. – 320 с.
3. Афанасик Г. И., Омелько А. А., Жуков Л. Ф. Управление водным режимом на больших мелиоративных системах // Мелиорация и охрана окружающей среды. – Минск, 1989. – С. 17–26.
4. Використання меліорованих земель Рівненської області в сучасних умовах: інформаційно-довідковий посібник / О. В.Скрипник, П. І. Гаць, А. М. Загорулько [та ін.] / за ред. П. І. Коваленка [та ін.]. – Рівне: Держгосп України, 1997. – 123 с.
5. Вознюк С. Т. Західне Полісся: сучасний стан і подальший розвиток меліорації земель України // Водне господарство України. – 1996. – № 4. – С. 16–20.
6. Потоцкий Г. С., Майструк С. П., Кожушко Л. Ф. Мелиорация Полесья. – Ровно, 1984. – 109 с.
7. Гаць П. И., Власюк А. П., Горковлюк А. Н. Новые конструкции осушительно-увлажнительных систем в условиях развитого рельефа // Мелиорация и освоение тяжелых минеральных почв : тр. науч.-техн. конф. 1990. – С. 39–40.
8. ДБН В.2.4-1-99 Меліоративні системи та споруди. – Київ, 1999. – 174 с.
9. Козловський Б. І. Наукові основи моніторингу осушених земель. – Львів, 1995. – 190 с.
10. Комплексное регулирование условий жизни растений на торфяных почвах / под ред. Г. И. Афанасика – Минск: Ураджай, 1980. – 136 с.
11. Костяков А. Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.
12. Лабренцис В. М. Системы двустороннего действия на основе закрытого дренажа // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 12. – С. 55–64.
13. Лазарчук М. О. Осушение земель: навчальний посібник. – Київ: ІЗМН, 1997. – 244 с.
14. Лазарчук М. О., Рокочинський А. М., Черенков А. В. Проектування осушувальних систем з основами САПР: практикум. – Київ: ІСДО, 1994. – 408 с.
15. Лихацевич А. П. К оценке точности уравнений водного баланса орошаемого поля // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 9. – С. 25–26.

16. Маслов Б. С. Режим почвенных вод переувлажненных земель и его регулирование. – М.: Колос, 1970. – 232 с.
17. Мелиорация и водное хозяйство. Осушение : справочник / под ред. Б.С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
18. Методы расчета и проектирования осушительно-увлажнительных систем Украины : пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения». – Киев, 1993. – 289 с.
19. Методические рекомендации по организации и ведению эколого-мелиоративного мониторинга на осушаемых землях / П. И. Коваленко, В. Е. Алексеевский, Е. В. Цветова [и др.]. – Киев, 1999. – 76 с.
20. Методичні рекомендації щодо екологічно оптимальних режимів меліорованих ґрунтів гумідної зони України / С. Т. Вознюк, А. М. Рокочинський, В. С. Мошинський [та ін.]. – Рівне, 2005. – 50 с.
21. Методы расчета и проектирования осушительно-увлажнительных систем Украины : пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения» / под ред. А. Я. Олейника. – Киев, 1993. – 289 с.
22. Минаев И. В. Экологическое усовершенствование мелиоративных систем. – Минск: Ураджай, 1986. – 151 с.
23. Мирцхулава Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974. – 278 с.
24. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. – Киев: Наук. думка, 1987. – 280 с.
25. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации) / И. П. Айдаров [и др.]. – М.: Агрометеоздат, 1990. – 60 с.
26. Алексеевский В. Е., Топольник Т. И. Организация мелиоративного мониторинга на осушаемых землях в верховьях реки Припяти. – М., 1990. – 20 с.
27. Основы эколого-мелиоративного мониторинга Украинского Полесья / под ред. А. А. Созинова, П. И. Коваленко. – Киев ; Луцк, 1992. – 128 с.
28. Гаць П. І. Методичні вказівки до проведення виїзних занять та виконання дипломних проєктів і магістерських робіт на прикладі водогосподарського природно-технічного комплексу науково-навчально-виробничого центру «Меліорація врожаю» для студентів 3–5 курсів та магістрантів спеціальності «Гідромеліорація» денної та заочної форми навчання. – Рівне: НУВГП, 2004. – 40 с.
29. Перегуда Л. В., Каркуций Г. Н., Андриенко Т. Л. Экологические аспекты осушительных мелиораций Украинского Полесья. – Киев: Наук. думка, 1988. – 192 с.
30. Платонов В. А. Оптимизация условий влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 118 с.
31. Расчет режима внутрипочвенного увлажнения на осушаемых землях / Г. С. Потоцкий [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 8. – С. 47–49.
32. Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах / Г. И. Афанасик [и др.] // Управление водным режимом мелиорированных земель. – Минск: Ураджай, 1987. – С. 9–15.
33. Рекомендации по технологии применения импульсного шлюзования на осушительно-увлажнительных системах с автоматизированным водорегулированием / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков [и др.]. – Ровно, 1987. – 28 с.
34. Рекс Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. – М.: Аслан, 1995. – 192 с.
35. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромашенка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
36. Скрипник О. В., Сорока И. С., Кубышкин В. П. Технология регулирования водного режима осушаемых земель / под ред. О. В. Скрипника. – Киев: Урожай, 1992. – 161 с.
37. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстройиздат, 1985. – 36 с.
38. СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения. – М.: Госстройиздат, 1985. – 199 с.
39. Справочник по использованию мелиоративной техники / под ред. Д. П. Полищука. – Киев: Урожай, 1986. – 205 с.
40. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення / за ред. П. І. Коваленка. – Київ: Аграрна наука, 2001. – 215 с.
41. Технические указания на проектирование совмещенных осушительно-увлажнительных систем: Н.Т.Д. 33.04.002-85. – Киев, 1985. – 74 с.
42. Тимчасові рекомендації з прогнозування оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проєктах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2011. – 54 с.
43. Чирков Ю. И. Основы агрометеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 248 с.
44. Шебеко В. Ф. Влияние осушительных мелиораций на водный режим территории. – Минск: Урожай, 1983. – 200 с.
45. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. – Минск, 1970. – 298 с.
46. Шумаков Б. Б. Мелиорация в XXI веке // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 3. – С. 4–6.
47. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 135 с.
48. Янголь А. М. Рекомендации по увлажнению осушаемых земель. – Киев: Урожай, 1965. – 88 с.
49. Яцик А. В. Екологічна безпека в Україні. – Киев: Генеза, 2001. – 216 с.

Глава 13. РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МЕЛИОРАТИВНЫМ ДРЕНАЖЕМ

13.1. Схематизация природных условий и выбор расчетных схем дренажа, исходных данных

Дренаж является важнейшим инженерным средством регулирования водного режима естественных и искусственных пористых структур и поэтому в Украине играет ключевую роль в водохозяйственном строительстве. Он получил широкое распространение в зонах и избыточного, и недостаточного увлажнения благодаря сильному влиянию, которое способен оказывать на фильтрационный режим водоносных толщ, и в том числе почвогрунтов. Главная функция дренажа в зоне Полесья, имеющей влажный климат и обладающей значительными водными ресурсами, состоит в отводе избыточной воды из активного (пахотного, корнеобитаемого) слоя почвогрунта. В засушливые периоды года из-за длительного отсутствия осадков, высоких температур, интенсивного физического и биологического испарения нередко запасы почвенной влаги чрезмерно срабатываются, так что культурные растения испытывают ее серьезный дефицит. В подобных ситуациях дренаж целесообразно применять уже для пополнения указанных запасов.

Таким образом, в рассматриваемом регионе дренаж имеет большие возможности в управлении водным режимом сельскохозяйственных угодий. Реализовать их в полной мере помогает математическое моделирование фильтрации и влагопереноса в пористых средах при наличии в них сосредоточенных и распределенных стоков и источников. Решения корректно сформулированных математических задач дренажа в гидродинамической и гидравлической постановках аналитическими методами служат базой при разработке инженерных методов расчета его конструктивных и технологических параметров. Для успешного практического применения этих методов необходимы достоверные данные о фильтрационных свойствах водоносной толщи, закономерностях водообмена между ней и атмосферой. Важно, чтобы подобная информация, добытая при проведении комплекса целенаправленных экспериментальных исследований в натуральных и лабораторных условиях, позволила прежде всего провести схематизацию природной обстановки на объекте мелиорации и выбрать на этой основе подходящую схему дренажа, а затем обеспечила расчетную методику набором значений всех содержащихся в ней модельных параметров. Поэтому ценность таких методик состоит не только в определении пространственно-временных изменений искомых характеристик, обосновании параметров дренажа, но и в рациональном планировании вышеупомянутых исследований, обработке их результатов с целью конкретизации исходных данных.

Представленные в настоящей главе инженерные методы разработаны благодаря теоретическому анализу в гидравлическом приближении фильтрационного процесса, протекающего на фоне двух типов дренажа в разнообразных почвенно-климатических и гидрогеологических условиях. Очевидно, что они могут успешно применяться только в том случае, если предварительно подобраны значения коэффициентов, характеризующих структуру и пропускную способность водонасыщенного грунта, а также его водообмена с сопредельными напорным горизонтом и приземным слоем атмосферы. Акцент был сделан на горизонтальный дренаж, с помощью которого удастся более гибко и оперативно управлять режимом почвенно-грунтовых вод. Ниже кратко изложен ряд методик, позволяющих просто и с приемлемой для практики точностью рассчитывать действие и параметры такого типа дренажа применительно к специфическим условиям зоны Полесья. Они дополняются двумя методиками, которые предназначены для обоснования параметров вертикального дренажа, обеспечивающего активное воздействие на водный режим сильно переувлажненных грунтов. Их предваряет схематизация природной обстановки на мелиоративных объектах, которая дает возможность выделить ряд типичных расчетных схем дренажа.

Основные положения схематизации сжато описаны ниже и свидетельствуют о необходимости корректного учета в расчетах дренажа его гидродинамического несовершенства, то есть несовершенства по степени вскрытия водоносного пласта, а попутно и по характеру его вскрытия. В рассматриваемой природно-мелиоративной зоне несовершенство дренажей обусловлено главным образом большой в сравнении с глубиной заложения дрен мощностью фильтрационных потоков. Поэтому мы специально посвятили один параграф установлению гидродинамической составляющей общего фильтрационного сопротивления. При ее вычислении предусматривается отдельный учет влияния на приточность к дрене верхнего хуже проницаемого (торфяного) слоя и нижнего более проницаемого (минерального) слоя. Вместе с тем в расчетах фильтрационных характеристик на достаточном удалении от дрен фактически неоднородно-слоистая пористая среда трактуется как условно однородная.

Ряд значимых режимоформирующих факторов, для которых характерна значительная вариативность в пространстве и времени, существенно осложняет природную обстановку на объектах мелиорации Полесья. Учесть в полном объеме комплекс почвенно-мелиоративных, гидрогеологических, климатических условий для прогноза развития указанной обстановки в настоящее время нереально ввиду ограниченности имеющейся информации о них и больших затрат на ее пополнение. Однако в этом и нет особой необходимости. Так, некоторые из упомянутых факторов оказываются для регулирования водного режима сельскохозяйственных земель второстепенными и поэтому их можно проигнорировать или, по крайней мере, учесть приближенно, вводя подходящие коррективы в базовые формулы. Также следует отметить, что выраженная нестабильность отдельных факторов наряду со случайной составляющей имеет и детерминистскую, которая отражает закономерности протекания водно-физических процессов, тенденций в формировании водного режима. При проведении теоретических исследований данных процессов на фоне дренажа эффективны формальные приемы, позволяющие упростить конфигурацию и структуру области фильтрации. Тем самым удается использовать математические модели, которые поддаются углубленному изучению аналитическими методами, а вместе с тем содержат меньшее количество эмпирических коэффициентов.

Применительно к расчетам дренажа первостепенное значение приобретает схематизация гидрогеологических условий. Повышенного внимания при этом заслуживает верхний участок (слой) мощных водоносных толщ, в пределах которого функционирует разнообразная почвенная биота и прежде всего корневые системы растений, происходят колебания уровня грунтовых вод (УГВ), интенсивный газообмен. Поэтому схемы дренажа, предназначенные для последующих разнообразных инженерных расчетов, выбраны на основе анализа упомянутых условий. Общим для них является большая мощность толщи грунта до частичного или абсолютного водоупора при незначительных различиях в водопроницаемости внутри нее. Поэтому в теоретических разработках оправдано усреднять коэффициент фильтрации, мощность водоносной толщи и УГВ, считая таким образом ее однородной.

В соответствии с принятой классификацией на Полесье распространены три разновидности водоносного комплекса, которые объединяют семь характерных гидродинамических геофильтрационных схем и требуют индивидуального подхода в расчетах дренажа. Комплекс А представляет собой геоструктуру, образованную тремя слоями разной мощности и проницаемости. В первом приближении ее целесообразно рассматривать как однородную со следующим средневзвешенным коэффициентом фильтрации k_e

$$k_e = \frac{k_1 m_1 + k_2 m_2 + k_3 m_3}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad (13.1)$$

где k_i , m_i ($i = 1, 2, 3$) – коэффициент фильтрации и мощность i -того слоя; под m_1 при укладке дрен в верхний слой понимается или более грубо их высота над ближайшей межслойной границей, или более точно эта же высота, дополненная усредненным превышением УГВ над ними. Соответствующие расчетные схемы дренажа представлены на рисунках 13.1, 13.2. Здесь пунктирной линией обозначается возможная граница между слоями. Незначительно повысить достоверность расчетов для гидродинамического участка AI^1 удастся, если выделить верхний слой, проницаемость которого заметно хуже, чем двух подстилающих. Последние опять целесообразно рассматривать как условно однородный слой. Его коэффициент фильтрации следует вычислять по формуле (13.1), предварительно положив $k_1 = m_1 = 0$. Таким образом, комплекс А в фильтрационных расчетах может трактоваться или как двухслойная пористая структура с менее мощным и хуже проницаемым верхним слоем, или с несущественно меньшей точностью как однородная структура в отсутствие гидравлической связи с нижележащим напорным горизонтом (рис. 13.1, 13.2). Расшифровка принятых на этих и других рисунках-схемах обозначений дается в соответствующих разделах главы.

Своеобразие гидрогеологических условий у комплекса Б обусловлено присутствием в водоносной толще прослойки (зоны кольматажа), которая может залегать на относительно небольшой глубине и иметь очень низкую проницаемость. Поэтому водообмен между грунтовыми водами и расположенным ниже мощным слоем водообильного мергеля крайне затруднен и не в состоянии заметно повлиять на работу дренажа. Фильтрационное течение на гидродинамическом участке BI^3 осложнено наличием здесь болотных отложений. Проницаемость верхнего слоя торфа небольшой мощности в несколько раз меньше проницаемости подстилающего слоя супеси. В таком случае предпочтительнее использовать расчетную схему с двухслойным грунтом, хотя допускается после аккуратного усреднения коэффициента фильтрации и применение более простой схемы (рис. 13.1, 13.2). Важно отметить, что толщина торфяного слоя все-таки достаточно большая, так что горизонтальные дрены, а вместе с ними каналы проводящей сети будут в нем висячими.

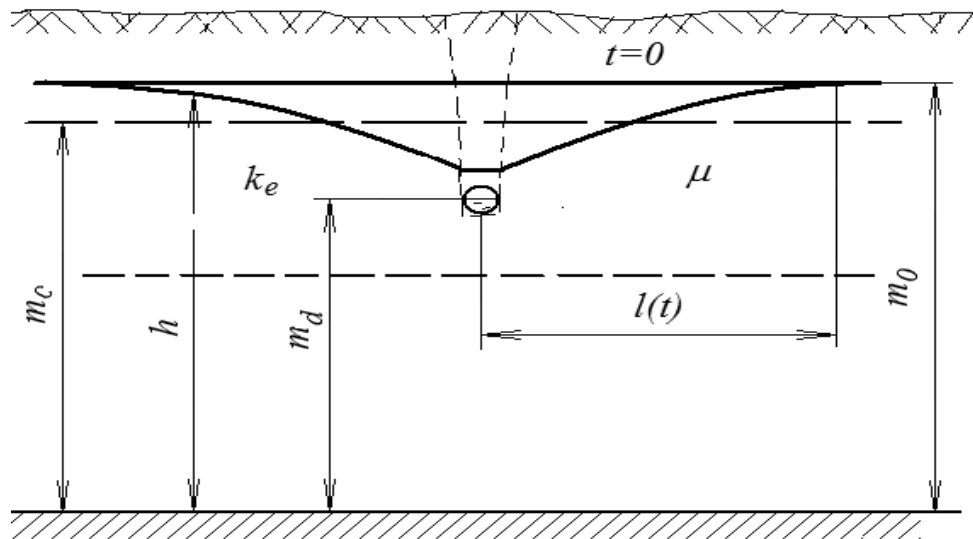


Рис. 13.1. Фильтрационная схема к расчету действия одиночной imperfectной горизонтальной дрены

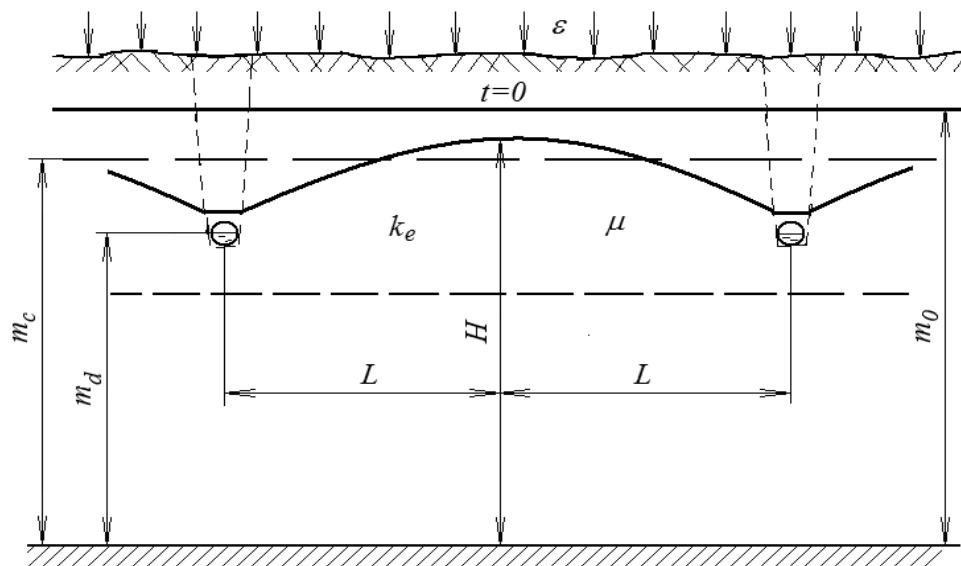


Рис. 13.2. Фильтрационная схема к расчету неустановившегося действия систематического imperfectного горизонтального дренажа

Наиболее сложные гидрогеологические условия характерны для комплекса *B* из-за возможной гидравлической взаимосвязи между грунтовыми и напорными водами. Сравнительно высокая для разделяющих перемычек проницаемость слоя суглинка даже при его весьма большой мощности может стать причиной значимого притока напорных вод в верхние слои и, как следствие, заметного снижения осушительного действия дренажа в критические по водности периоды года. Если перепад напоров на границе перемычки равен Δh , то интенсивность перетока воды через нее при жестком режиме фильтрации будет $k_s \Delta h / m_s$, где k_s , m_s – коэффициент фильтрации и мощность слабопроницаемого прослоя. В подобных случаях имеет смысл привлекать фильтрационные схемы дренажа с однородной или двухслойной структурами потока грунтовых вод, в которых дополнительно учитывается напорное питание. Схема, отвечающая однородной или двухслойной структуре с таким питанием, изображена на рисунке 13.3. Для гидродинамического участка *BIII*³ лучше подходит двухслойная геофильтрационная схема ввиду специфических фильтрационных свойств верхнего торфяного слоя. Указанный слой имеет достаточную мощность, чтобы дрены и каналы неглубокого заложения находились в его пределах.

Добиться значительного осушительного или увлажнительного эффекта на участках большой площади из-за локализации влияния отдельной дрены позволяют дренажные системы с одинаковым междренним расстоянием $2L$ для обеспечения равномерности регулирования водного режима. Для

расчетов фильтрационной обстановки на этих системах успешно применяются схемы систематического дренажа (рис. 13.2–13.4), а их основным конструктивным параметром, который следует обосновывать теоретическим путем, становится расстояние L . Влияние дренажной системы на прилегающие территории главным образом обусловлено действием крайних дрен (каналов) и носит нестационарный характер. Поэтому для его оценки подходит схема одиночной дрены в безграничном плане пласте (рис. 13.1). Иногда осушительное действие системы дрен может заметно усиливаться под влиянием проводящих каналов. В первом приближении осушительный эффект за счет действия каналов удастся оценить, привлекая плановую схему систематических осушителей и соответствующие математические модели (рис. 13.5). При этом дренируемая площадь делится на множество одинаковых участков примерно прямоугольной формы. Осушение каждого из них обеспечивают дрены (каналы, кротовины), расположенные на всех четырех границах.

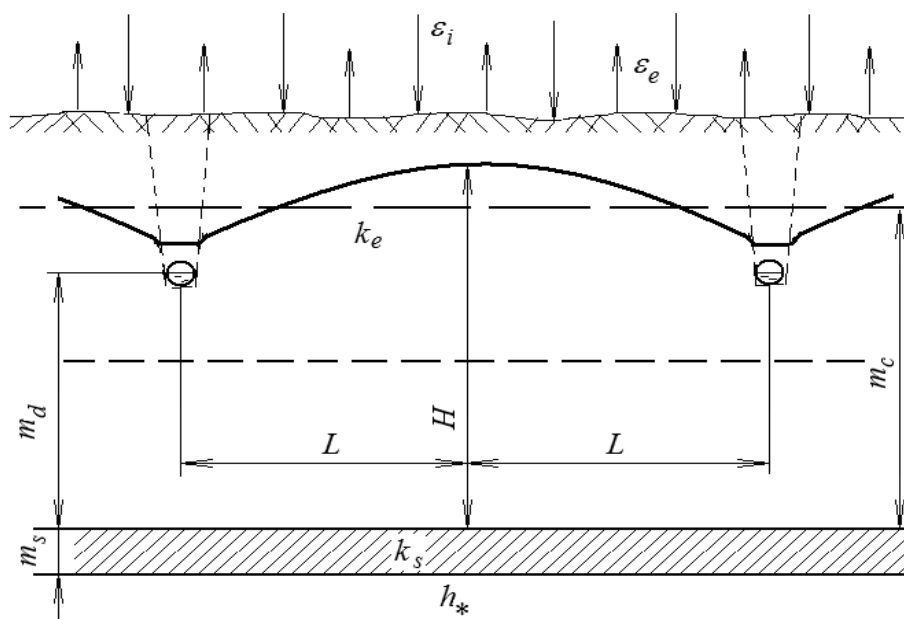


Рис. 13.3. Фильтрационная схема к расчету установившегося действия систематического несовершенного дренажа

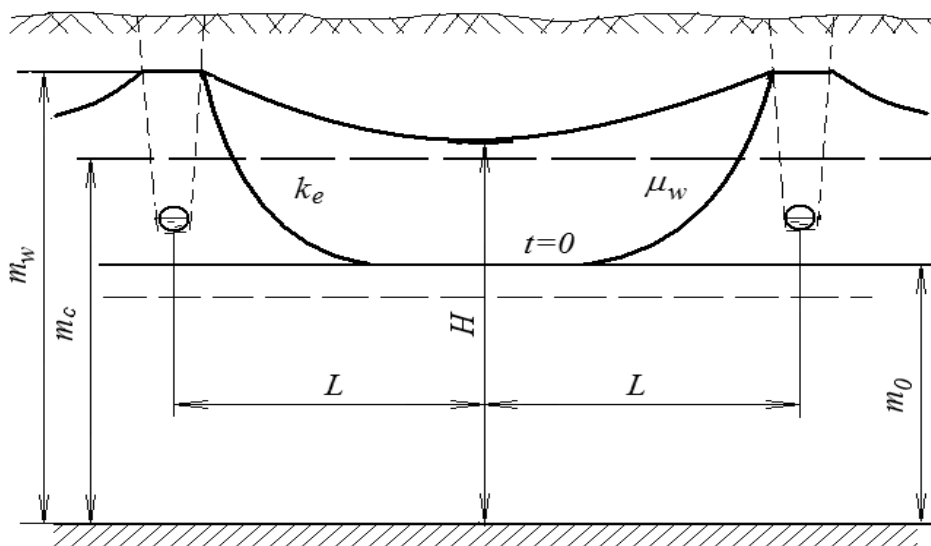


Рис. 13.4. Фильтрационная схема к расчету подпочвенного увлажнения систематическим несовершенным горизонтальным дренажем

Для проведения практических расчетов и получения достоверных результатов необходимо разработанные методы предварительно обеспечить исходной информацией в полном объеме. Состав такой информации диктуется схемой дренажа и видом используемых в вычислениях формул и уравнений. Указанная схема выбирается после обработки всего имеющегося массива эмпирических данных с учетом назначения дренажа. В соответствии с ней в первую очередь задаются коэффициенты

фильтрации и мощности (принимается во внимание начальное или стабильное положение УГВ) для двухслойной или однородной грунтовой толщи. Затем в зависимости от принятой схемы формализуется информация, которая количественно характеризует водообмен грунтовых вод с напорными, поверхностными водами и атмосферой, включая и биологический фактор, а также отражает особенности конструкции дренажа, требования к его эксплуатации.

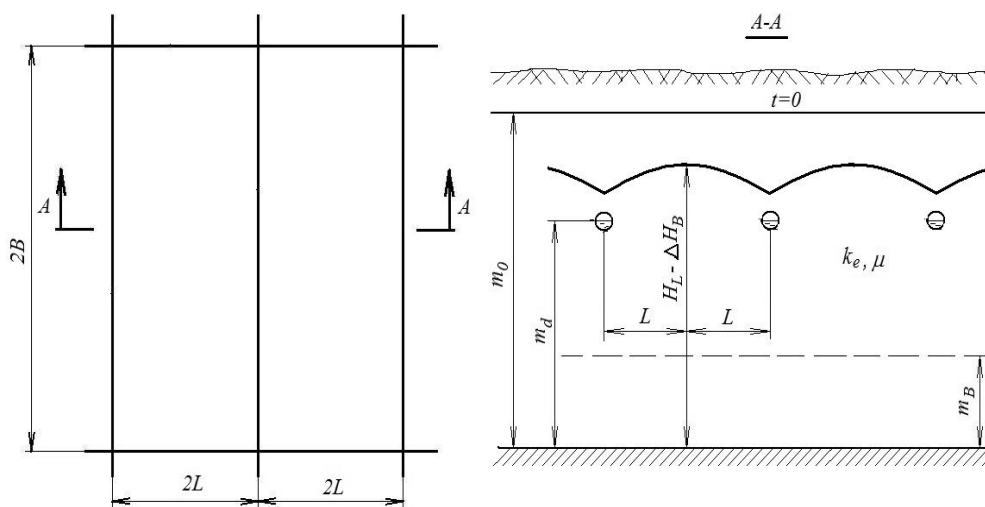


Рис. 13.5. Фильтрационная схема к расчету неустановившегося действия систематического несовершенного горизонтального дренажа с учетом влияния сети проводящих каналов

Ответственными для работы мелиоративного дренажа в рассматриваемом регионе являются (ранне)весенний и летний периоды. Весной часто наблюдается сильное переувлажнение почвогрунта, а иногда и его затопление на пониженных участках местности вследствие интенсивного снеготаяния, сопровождаемого оттаиванием верхнего промерзшего слоя грунта. Поэтому первый период обычно является основным для оценки эффективности осушительного дренажа, который должен обеспечить в это время отвод избыточной влаги из почвогрунта в нормативные сроки. Закономерные изменения во времени фильтрационных характеристик, а вместе с тем рациональные параметры дренажа устанавливаются с привлечением нестационарных гидравлических моделей фильтрации. Ввиду относительной кратковременности весеннего расчетного периода, низких температур, малых осадков фильтрационный процесс здесь рассчитывается без учета водообмена с сопредельными средами при максимально высоком стоянии грунтовых вод (рис. 13.1, 13.2). Их начальный уровень зависит от предшествовавших метеорологических условий, рельефа местности, и иногда в расчетах полагается, что грунт к началу осушительного действия дренажа полностью насыщен водой. Следует заметить, что в особых случаях возможно даже образование слоя воды на поверхности земли. Тогда дрена на первом, коротком этапе осушения работает как подрусовая. Моделирование фильтрационного процесса здесь осложняется не только из-за гидродинамического характера течения грунтовых вод, но и, возможно, в связи с динамикой поверхностного стока, на который сильно влияет уклон местности.

В течение вегетационного периода сельскохозяйственных культур нередко имеют место резкие перепады погодных условий, вследствие которых чередуются чрезмерное переувлажнение и переосушение почвогрунта. Вместе с обильными осадками, интенсивным физическим испарением и транспирацией ухудшить водно-физическое состояние почвогрунта способно напорное питание, поступающее в грунтовые воды через подстилающий слабопроницаемый прослой [12]. Несмотря на существенную неравномерность во времени и непредсказуемость выпадения осадков, благодаря малой интенсивности фильтрационных процессов часто достаточно в исходную нестационарную или стационарную модель осушительного дренажа ввести обобщенную постоянную величину, а именно скорость инфильтрации ε , которая точно отражает объем поступившей с поверхности земли в грунт воды за рассматриваемое время для репрезентативного года (рис. 13.5).

Длительное испарение с поверхности грунтовых вод может стать причиной чрезмерного снижения УГВ и, как следствие, излишней сработки влагозапасов в корнеобитаемой зоне почвогрунта. Интенсивность такого испарения в значительной степени зависит от глубины УГВ [1,32] и при прогрессирующем осушении почвогрунта, а также вдоль фильтрационного потока нередко существенно меняется. Данный факт в расчетах осушительного или увлажнительного действия дренажа принято учитывать с помощью следующей степенной зависимости:

$$\varepsilon_e = \varepsilon_s (h - h_k)^\delta, \quad (13.2)$$

где ε_s – стандартная интенсивность, которая в отсутствие значимого отбора воды корнями растений выражается через потенциальную ε_m (при полном насыщении почвогрунта) таким образом:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_m / (M - h_k)^\delta,$$

где M – полная мощность грунтовой толщи (от водоупора до поверхности земли), h_k – критическая глубина (прекращается испарение). Если соответствующим образом скорректировать коэффициент ε_s , то с помощью выражения (13.2) удастся учесть уже эвапотранспирацию. Быстро устранить серьезное переосушение почвогрунта или вообще его предупредить позволяет подпочвенное увлажнение, реализуемое регулярной системой дрен-увлажнителей (рис. 13.4) [5, 8, 24, 29].

Положение УГВ контролируется, с одной стороны, фильтрационным течением, а с другой стороны – влагопереносом в зоне аэрации. Направленность водообмена между насыщенной и ненасыщенной зонами почвогрунта определяется режимом регулирования его водно-физического состояния. Интенсивность же водообмена в первом приближении оправдано считать пропорциональной скорости перемещения УГВ. Коэффициент пропорциональности μ в зависимости между ними также зависит от режима регулирования, но в еще большей степени от глубины залегания грунтовых вод. Хотя при осушении и подпочвенном увлажнении значения указанного коэффициента отличаются, но из-за ограниченности надежной информации о влажностных свойствах почвогрунта, закономерностях влагопереноса в нем этой разницей, как правило, приходится пренебрегать. Более существенна связь коэффициента осредненной водоотдачи (недостатка насыщения) μ с коэффициентом фильтрации k и глубиной УГВ [7, 16]. Если подходящие экспериментальные данные по μ отсутствуют, то для оценочных расчетов правомочно использовать обобщенные эмпирические формулы. Их удобно представить в следующей единой форме:

$$\mu(h) = \alpha k^\beta (M - h)^\gamma. \quad (13.3)$$

Для минеральных грунтов рекомендовались (Г. Д. Эркин) $\alpha = 0,056$, $\beta = 0,5$, $\gamma = 0,333$; для низинного торфа (А. И. Ивицкий) – $\alpha = 0,116$, $\beta = 0,375$, $\gamma = 0,75$. Также для условий Полесья пригодна формула В. П. Насиковского, В. Я. Шапрана [13].

При выполнении практических расчетов систематического дренажа и заданных на междренье начальном (h_0) и конечном (h) положениях УГВ предварительно необходимо вычислить отвечающее им значение коэффициента осредненной водоотдачи (или недостатка насыщения) по формуле:

$$\mu_c(h) = \frac{1}{3} [\mu(m_d) + \mu(h_0) + \mu(h)] = \frac{\alpha k^\beta}{3} [(M - m_d)^\gamma + (M - h_0)^\gamma + (M - h)^\gamma]. \quad (13.4)$$

Только затем находится время достижения уровнем воды в почвогрунте отметки h . Если же заранее известно расчетное время, то соответствующий ему УГВ из-за монотонных увеличения или уменьшения текущей величины μ без дополнительного ее осреднения приходится определять подбором. Очевидно, что указанный коэффициент имеет физический смысл только в случае неустановившейся фильтрации.

В последнее время численными и аналитическими методами выполнены исследования водообмена между насыщенной и ненасыщенной зонами почвогрунта на базе моделей совместных фильтрации и влагопереноса, что позволило обосновать зависимости водоотдачи μ_d и недостатка насыщения μ_w от глубины залегания $M - h$ и скорости перемещения УГВ $\frac{dH}{dt}$ в следующей форме [23]:

$$\mu_{d,w} \left(H, \frac{dH}{dt} \right) = \lambda_{d,w} \left(\frac{dH}{dt} \right) \mu_{dm,wm} (H).$$

Ключевое значение для расчетов действия мелиоративного дренажа имеет второй сомножитель, для которого в соответствии с [20,35] принимались такие выражения

$$\mu_{dm} (H) = (\theta_s - \theta_r) \left\{ 1 - \left[1 + \alpha^n (M - H)^n \right]^{\frac{1-n}{n}} \right\},$$

$$\mu_{wm} (H) = \sqrt{\theta_s^2 - \theta_r \theta_s} \cdot \sqrt{1 - \left[1 + \alpha^n (M - H)^n \right]^{\frac{1-n}{n}}},$$

где θ_s, θ_r – остаточное и полное за вычетом заземленного воздуха влажности; α, n, m – эмпирические коэффициенты. Для первого сомножителя рекомендовано представление:

$$\lambda_{d,w} \left(\frac{dH}{dt} \right) = \left(1 + a_{d,w} \sqrt{\pm \frac{dH}{dt}} \right)^{-1},$$

где знак «+» и a_w отвечают увлажнению, знак «-» и a_d – осушению. В основу расчетов репрезентативных значений коэффициентов $a_{d,w}$ положена международная классификация мелкодисперсных минеральных грунтов FAO, согласно которой многообразие подобных грунтов в природе в зависимости от содержания в них песчаных, пылеватых, илистых частиц разделено на 12 классов [26]. В таблице 13.1 приведена в качестве примера информация об исходных и расчетных параметрах первых трех классов, отличающихся более легким механическим составом, хотя в настоящее время уже имеется подобная информация для всех двенадцати классов.

Таблица 13.1

Значения исходных и расчетных параметров для трех классов мелкодисперсных минеральных грунтов

Класс грунта	$\alpha, \text{м}^{-1}$	n	θ_s	θ_r	$k, \text{м/сут}$	$a_d, \text{сут}^{0.5} \text{м}^{-0.5}$	$a_w, \text{сут}^{0.5} \text{м}^{-0.5}$
Песок	14.5	2.68	0.43	0.045	7.13	0.1837	0.0904
Суглинистый песок	12.4	2.28	0.41	0.057	3.5	0.3056	0.1457
Опесчаненный суглинок	7.5	1.89	0.41	0.065	1.06	0.5799	0.2688

13.2. Учет гидродинамического несовершенства дренажа

Моделирование процессов осушения и увлажнения почвогрунтов с использованием дренажа существенно осложняется ввиду пространственного характера течения грунтовых вод вблизи него. Для работы горизонтальных и вертикальных дренажей на Полесье характерно двойное сжатие фильтрационного потока вблизи них. Подобное происходит вследствие малости в сравнении с мощностью потока не только размеров водоприемных элементов, но и самих дрен, а также глубины их заложения. Обычно более сильное сжатие и обусловленные им весьма серьезные дополнительные потери напора наблюдаются на придренном участке потока протяженностью, примерно равной его мощности. Надежно их определить теоретическим путем удастся только, привлекая гидродинамические модели фильтрации. В расчетах дренажей эффект первичного сжатия потока принято учитывать посредством специального фильтрационного сопротивления Φ_h . Ввиду быстрого установления фильтрационного процесса около дрены величина Φ_h практически не зависит от времени. Для ее определения применительно к горизонтальному дренажу предложены многочисленные формулы, которые получены в результате строгих решений стационарных двухмерных (профильных) задач фильтрации на фоне дренажа. При этом было рассмотрено действие одиночных систем дрен в однородных и неоднородно-слоистых водоносных толщах при различных видах питания грунтовых (подземных) вод [15]. Применительно к специфическим природным условиям Полесья достаточно ограничиться двумя из множества существующих формул. Поскольку водоносные толщи, относящиеся ко всем трем грунтово-напорным комплексам, при схематизации фильтрационной обстановки допускают их формальную замену однородной геоструктурой, то основной является широко известная формула В. В. Ведерникова [4], которая после адаптации к режиму безнапорной фильтрации для горизонтальной дрены выглядит следующим образом

$$\Phi_h = \frac{m_c}{2\pi} \ln \frac{m_c}{2\pi r_d \sin \pi(\Delta m_c + 0.5r_d)/m_c}, \quad (13.5)$$

где m_c – средняя мощность фильтрационного потока, $\Delta m_c = (m_0 + H_p - 2m_d)/4$, m_0 – исходная для расчетов отметка УГВ, m_d – высота заложения дрены над (частичным) водоупором, r_d – радиус дрены с учетом фильтра. Если фильтрационное течение фактически начинается на значительном удалении от дрены и напор здесь почти не меняется со временем, то его значение m_0 используется в соответствующей нестационарной фильтрационной задаче в начальном и граничном (на бесконечности) условиях. Тогда, m_c оправдано определять как $(m_0 + m_d)/2$, а Δm_c как $(m_0 - m_d)/2$. В случае же

систематического осушительного дренажа фильтрационный поток формируется с междренья, на котором напор (УГВ) H постепенно снижается. Пусть к расчетному моменту времени он опустится от отметки m_0 до отметки H_p . В таком случае рекомендуется вычислять m_c с учетом динамики напора как $(m_0 + m_d + H_p)/3$, а Δm_c как $(m_0 + H_p - 2m_d)/4$. При неустановившейся работе регулярной системы дрен в качестве увлажнителей значение m_c следует находить, принимая во внимание управляющий напор в дрене m_w , и тогда оно будет равно $(m_w + m_0 + H_p)/3$, а Δm_c станет равняться $(2m_w - H_p - m_0)/4$. Устройство хорошо проницаемой засыпки позволяет уменьшить фильтрационное сопротивление дрены. Соответствующие рекомендации приведены в литературе [15, 16].

Влияние неоднородности грунта на фильтрационный процесс существеннее вблизи дрен, и поэтому в расчетах сопротивления Φ_h применительно к гидродинамическим участкам $BIII^3$ и $BIII^1$ целесообразно учитывать наличие в водоносной толще верхнего маломощного менее проницаемого слоя. Определять Φ_h с высокой достоверностью при расположении горизонтальных дрен в верхнем слое позволяет следующая формула [15]:

$$\Phi_h = \chi \frac{k_2(m_1 + m_2)}{2\pi k_1} \ln \frac{m_1 + m_2}{2\pi r_d \sin \frac{\pi(m_1 + m_2 + 0.5r_d)}{m_1 + m_2}} + \frac{m_1(k_1 - k_2)}{2\pi k_1} \ln \frac{m_1}{2\pi r_d \sin \frac{\pi(m_1 + 0.5r_d)}{m_1}} \quad (13.6)$$

Здесь $\chi = 1 - \left[0.21 \sqrt{\frac{k_2 - k_1}{k_2 + k_1}} + \frac{r_d(k_2 - k_1)}{m_1(k_2 + k_1)} \right] \lg \frac{m_2}{m_1}$, m_1 – средняя мощность фильтрационного потока в верхнем слое.

На действие дренажей иногда оказывают негативное влияние другие факторы. Среди них выделяется явление колыматажа, имеющее физическую, химическую или биологическую природу. В несвязных (песчаных) грунтах возможна их суффозия, благодаря которой может достигаться заметно больший осушительный эффект. Сопутствующие работе дренажа, активно на нее влияющие и, кстати, им же часто инициированные явления удается просто учитывать в фильтрационных расчетах благодаря использованию концепции и метода фильтрационных сопротивлений [14, 27]. Согласно им в основу гидравлических расчетов регулирования водного режима почвогрунтов должны быть положены формулы, выведенные применительно к совершенным (идеальным) дренажам и затем скорректированные с учетом дополнительных помех, которые способны ощутимо уменьшить интенсивность фильтрационного процесса. Базовой для определения погонного расхода несовершенного дренажа q в однородном грунте при напорной и безнапорной фильтрации, а вместе с тем и других важных фильтрационных характеристик является следующая формула:

$$q = km_c \frac{\Delta h}{\Phi_0 + \Phi_h + \Phi_d + \dots} \quad (13.7)$$

Здесь k – коэффициент фильтрации грунта, Δh – перепад напоров (уровней) на дрене и внешней границе области дренирования, Φ_0 – фильтрационное сопротивление совершенной дрены, Φ_d – фильтрационное сопротивление за счет несовершенства конструкции дрены [6, 10, 30, 33, 38]. Остальные сопротивления при необходимости просто вводятся в формулу (13.7) [2, 19, 25, 31]. Изложенные ниже восемь методик обеспечивают надежный расчет в разнообразных природных условиях действия и параметров именно несовершенных дрен. Степень несовершенства характеризуется общим дополнительным фильтрационным сопротивлением Φ . Формально Φ включает все возможные виды дополнительных сопротивлений, но поскольку основной вклад в Φ чаще всего дает Φ_h , то выше представлены для его определения две формулы, которые подходят для мелиоративных объектов Полесья с регулируемым посредством горизонтального дренажа водным режимом.

Если осушение переувлажненной территории осуществляется несовершенными скважинами, то соответствующую гидродинамическую составляющую Φ_h их общего фильтрационного сопротивления Φ_c рекомендуется определять по формулам, которые вместе с вспомогательными рисунками и

таблицами представлены в монографиях [14, 27]. Они были получены для одиночной скважины на основе выражения (13.7) с использованием строгих решений пространственных задач фильтрации к точечным и линейным стокам. В частности, при расположении фильтра скважины около кровли или подошвы напорного пласта ориентировочное значение Φ_h рекомендовалось определять, привлекая рис. 13.6. Уточнить это значение с учетом потерь напоров в стволе позволяет рис. 13.7. При его построении А. Я. Олейник, А. М. Тугай использовали собственные результаты углубленных гидродинамических исследований действия несовершенной скважины. В случае регулярной системы таких скважин дополнительным сопротивлением вследствие их взаимного влияния следует пренебрегать, так как отношение расстояния между скважинами к мощности фильтрационного потока намного больше 1 [17].

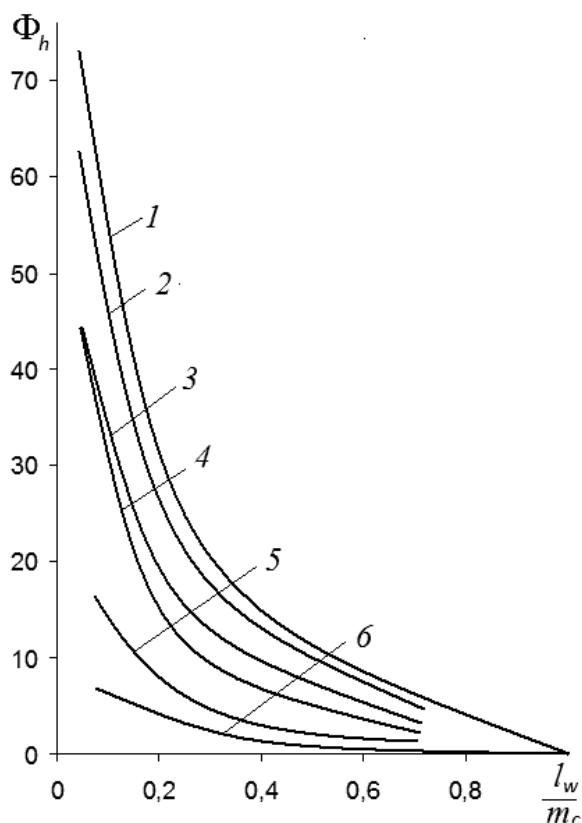


Рис. 13.6. Зависимость $\Phi_h(l_w/m_c)$:

- 1 – $m_c/r_w = 10$, 2 – $m_c/r_w = 30$,
 3 – $m_c/r_w = 100$, 4 – $m_c/r_w = 200$,
 5 – $m_c/r_w = 500$, 6 – $m_c/r_w = 1000$

Здесь l_w – высота фильтра скважины, α_w – поправочный коэффициент, на который следует умножать примерное значение Φ_h согласно рисунку 13.6, чтобы получить его более обоснованное и уже окончательное значение.

13.3. Неустановившийся приток к одиночной горизонтальной дрене в неограниченном в плане водоносном пласте

Дренажи способны вносить существенное возмущение в фильтрационный режим водоносных толщ, которое, тем не менее, носит локальный характер. Ряд современных методов инженерного расчета мелиоративного дренажа разработан на основе нестационарных гидравлических моделей фильтрации в предположении равномерного снижения УГВ вдоль фильтрационного течения, которое происходит в случае систематического дренажа на всем междренном пространстве, а одиночной дрены –

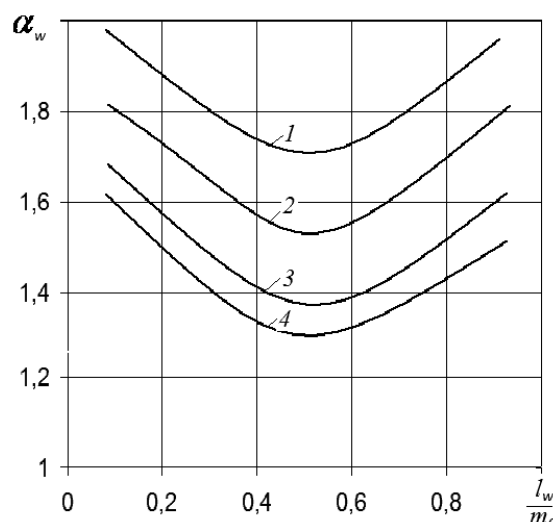
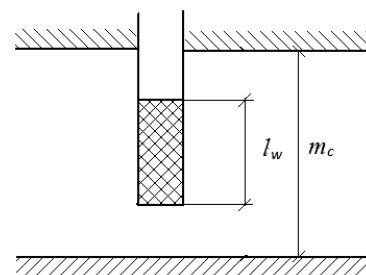


Рис. 13.7. Зависимость $\alpha_w(l_w/m_c)$:

- 1 – $r_w/m_c = 0.01$, 2 – $r_w/m_c = 0.015$,
 3 – $r_w/m_c = 0.02$, 4 – $r_w/m_c = 0.05$

в зоне ее влияния. Для постоянной же скорости понижения принимались или чаще ее фактическое значение в каком-либо характерном сечении потока (на междуренье для систематического дренажа), или реже ее среднее значение в области движения. Второе допущение относительно скорости УГВ лучше отвечает физике фильтрационного процесса и поэтому позволяет выводить более точные расчетные зависимости, хотя они оказываются несколько сложнее. Именно это допущение использовалось в теоретических разработках по дренажу, важнейшие результаты которых изложены в данной главе. В большинстве представленных ниже расчетных методик содержатся только элементарные функции, что максимально облегчает проведение вычислений. Только в одной методике приходится иметь дело со специальными интегральными функциями. Их значения просто находятся с привлечением стандартных пакетов программ математического анализа типа Mathcad, Matlab и пр. Вообще применение таких пакетов существенно облегчает проведение количественного анализа, особенно если требуется выполнять большой объем вычислений, находить искомые величины подбором. Всесторонне оценить осушительный эффект от действия одной горизонтальной дрены в (условно) однородном грунте позволяют расчетные зависимости, которые приведены ниже. Они соответствуют фильтрационной схеме на рисунке 13.1 и вытекают из приближенного решения задачи неустановившегося притока к одиночной несовершенной дрены в неограниченном в плане пласте. Это решение, как и другие базовые решения для методик из данной главы, в принципе пригодно для условий и безнапорной (при достаточно большой мощности фильтрационного потока), и напорной фильтрации, так как в его основе лежит единая по форме линейная модель фильтрации. Высокая точность указанного решения следует из результатов его сопоставления с частным строгим (для совершенного дренажа). Для компактности расчетные зависимости представлены в безразмерном виде.

Расширение зоны влияния дрены описывается уравнением

$$\bar{t} = \frac{\bar{l}^2}{12} + \frac{2}{3} \bar{\Phi} \bar{l} - \frac{8}{3} \bar{\Phi}^2 \ln \left(1 + \frac{\bar{l}}{4\bar{\Phi}} \right). \quad (13.8)$$

Изменение относительного одностороннего расхода дрены \bar{q} со временем рекомендуется определять с использованием следующего выражения

$$\bar{t} = \frac{(1 - \bar{m}_d^2)^2}{12\bar{q}^2} + \frac{8}{3} \bar{\Phi}^2 \ln \frac{4\bar{\Phi}\bar{q}}{1 - \bar{m}_d^2} - \frac{4}{3} \bar{\Phi}^2. \quad (13.9)$$

УГВ (напор) в пределах указанной зоны со временем изменяется согласно следующей зависимости

$$\tilde{h}(\bar{x}, \bar{l}) = \frac{m_0 - h(x, l)}{\Delta m} = \frac{(\bar{x} - \bar{l})^2}{\bar{l}^2 - 4\bar{\Phi}\bar{l}}. \quad (13.10)$$

Здесь принято: $\bar{t} = \frac{k_e m_c}{\mu_c m_0^2} t$, $\bar{l} = \frac{l}{m_0}$, $\bar{\Phi} = \frac{\Phi}{m_0}$, $\bar{m}_d = \frac{m_d}{m_0}$, $\bar{x} = \frac{x}{m_0}$, $\Delta m = m_0 - m_d$; k_e , μ_c – коэффициенты

фильтрации (средневзвешенный) и водоотдачи (упругой, осредненной), причем μ_c равняется $\alpha k^\beta [(M - m_0)^\gamma + (M - m_d)^\gamma]$ или несколько меньше; m_c – усредненная мощность фильтрационного потока в зоне влияния дрены, равная $(m_0 + m_d)/2$ (или мощность напорного горизонта); l – длина зоны влияния; h , m_0 , m_d – отметки текущего, начального УГВ и дрены над водоупором.

Зависимости (13.8)–(13.10) могут успешно применяться не только для прогноза изменения зоны влияния отдельной дрены, положения УГВ, ее расхода, но и для решения инженерных задач. В частности, они позволяют рационально выбирать глубину заложения дрены, исходя из требований к ней обеспечить на удалении L снижение УГВ до заданной отметки в определенные сроки. Кроме того, как показано в следующем параграфе, указанные зависимости дают возможность точнее рассчитывать систематический дренаж.

13.4. Неустановившийся приток к систематическому горизонтальному дренажу

Особое место среди представленных в данной главе восьми расчетных методик занимает методика, описанная ниже и иллюстрируемая на рисунке 13.2, так как предназначена она для прогноза развития осушительного процесса на дренажных системах, обоснования их конструктивных параметров применительно к основному расчетному периоду. Именно ранней весной чаще всего в почвогрунтах складываются особенно неблагоприятные для проведения сельскохозяйственных работ водно-физические условия и от дренажа требуется оперативный отвод большого объема избыточной воды.

Степень исходного для действия дренажных осушителей переувлажнения грунта характеризуется начальной для расчетов высотой УГВ над водоупором m_0 . При постановке нестационарных задач фильтрации на фоне дренажа традиционно m_0 полагается константой. В таком случае процесс осушения грунта формально будет протекать в два этапа. Первичное осушение продолжится до момента t_1 смыкания зон влияния соседних дренажей. Определяется он по формуле (13.8) и будет равен

$$t_1 = \frac{\mu_c}{k_e m_c} \left(\frac{L^2}{12} + \frac{2}{3} \Phi L - \frac{8}{3} \Phi^2 \ln \left(1 + \frac{L}{4\Phi} \right) \right), \quad (13.11)$$

где L – половина междреннего расстояния.

Однако, с физической точки зрения, учитывая высокую динамичность УГВ весной, вопрос о выборе начальной формы УГВ однозначно решить нельзя. Поэтому для расчетов уровня режима важно задаться значением m_0 только на междренье. Временем же t_1 можно пренебречь, тем более что длительность первого и, по сути, вспомогательного этапа осушения намного меньше длительности второго этапа. Как раз для основного этапа дальше приводятся важнейшие расчетные зависимости. Ключевое значение имеет зависимость для определения времени снижения УГВ, а именно:

$$t = \frac{L^2 + 6L\Phi}{3k_e m_c} \mu_c(h) \ln \frac{\Delta m (4\Phi L + 2Lx - x^2)}{(L^2 + 4L\Phi)(h - m_d)}, \quad (13.12)$$

где $\mu_c(h)$ вычисляется согласно (13.4). Из (13.12) вытекает формула для расчета, во-первых, снижения УГВ на междренье со временем, во-вторых, важнейшего параметра систематического дренажа. Динамика уровня на междренье $H(t) = h(L, t)$ описывается зависимостью

$$t = \frac{L^2 + 6L\Phi}{3k_e m_c} \mu_c(H) \ln \frac{\Delta m}{H - m_d}. \quad (13.13)$$

Определению междреннего расстояния посвящена обширная литература, например [3, 11, 34, 36]. Здесь же расстояние L предлагается вычислять при заданных времени осушения t_0 и норме осушения S_0 следующим образом

$$L = \sqrt{\frac{3k_e m_c t_0}{\mu_c(M - S_0) \ln \frac{\Delta m}{M - S_0 - m_d}} + 9\Phi^2} - 3\Phi, \quad (13.14)$$

где $\mu_c(M - S_0)$ согласно (13.4). Односторонний дренажный расход в любой момент времени можно аккуратно найти по формуле

$$q = \frac{2k_e m_c}{L + 4\Phi} \exp \left[- \frac{3k_e m_c t}{\mu_c(h_0)(L^2 + 4L\Phi)} \right], \quad (13.15)$$

где $h_0(t) = h(0, t)$. Последовательность расчетов q с учетом переменности μ_c выглядит таким образом: сначала следует задаться значением h_0 , затем из (13.12) найти отвечающие ему значения времени t и коэффициента μ_c . И, наконец, подставить этот набор значений в (13.15). В итоге легко вычисляется искомое значение q на установленный момент времени. Расчеты УГВ и расхода упрощаются, если можно оперировать постоянной средней величиной μ_{cc} переменного коэффициента μ_c . Тогда изменение h со временем и вдоль фильтрационного потока сразу рассчитывается по формуле

$$h(x, t) = m_d + \Delta m \frac{4\Phi L + 2Lx - x^2}{4\Phi L + L^2} \exp \left[- \frac{3k_e m_c}{\mu_{cc}(L^2 + 6\Phi L)} t \right], \quad (13.16)$$

а расход q можно вычислять непосредственно из (13.15), полагая $\mu_c(h_0) = \mu_{cc}$.

Заслуживают внимания результаты сопоставления формулы (13.14) с аналогичной известной формулой, которая была ранее получена в предположении равномерного по длине течения притока воды из ненасыщенной зоны, причем с такой же интенсивностью, как на междренье [16]. Кстати, прежняя формула является достаточно надежной, так как обосновывалась для разнообразных почвенно-мелиоративных условий путем сравнения и с другими авторитетными формулами, и с данными численных расчетов на базе исходной математической модели. Однако, с формальной точки зре-

ния, формула (13.14) более точная, так как при ее выводе дополнительно учитывался факт роста приточности к грунтовым водам за счет стекания воды из зоны аэрации с приближением к дрене. Применительно к совершенному дренажу рассчитанное с помощью новой формулы расстояние L оказывается больше на 22,5 %.

13.5. Неустановившийся приток к систематическому дренажу с учетом инфильтрации

Представленную в предыдущем подразделе методику в принципе можно использовать для расчета УГВ и проверки междренного расстояния также в случае кратковременного выпадения ливневых осадков, что периодически происходит поздней весной и летом (рис. 13.2). Пусть весь объем дождевой (поливной) воды, поступившей в почвогрунт через каждую часть его поверхности единичной площади, составляет w , а исходный УГВ находится на отметке m^0 . Тогда УГВ быстро поднимется до отметки m_0 , которую предлагается вычислять исходя из баланса грунтовых вод и с учетом (13.3) по следующей формуле:

$$m_0 = M - \left[(M - m^0)^{\gamma+1} - \frac{w}{\alpha k^\beta} \right]^{\frac{1}{\gamma+1}}.$$

При установленном таким образом значении m_0 последующий расчет осушения почвогрунта систематическим дренажем целесообразно проводить, пренебрегая временем дотекания инфильтрационной воды до грунтовой, с привлечением зависимостей (13.12)–(13.15). Более точно определяются динамика УГВ и междренное расстояние благодаря решению аналогичной задачи неустановившегося притока к систематическому дренажу, но теперь в условиях стабильного инфильтрационного питания фильтрационного потока. В данной методике интенсивность ε такого питания, которое может иметь место в течение всего расчетного периода или его первой части, как обычно, принимается постоянной.

Основной является зависимость, предназначенная для вычисления времени перемещения УГВ до заданной отметки h на произвольном расстоянии от дрен вплоть до междренья, а именно:

$$t = \frac{\mu_c(h)}{\psi} \ln \left[\frac{2\psi(L + 6\Phi)\Delta m - 3\varepsilon(L + 4\Phi)}{L + 4\Phi} \times \frac{4\Phi L + 2Lx - x^2}{2\psi(L^2 + 6L\Phi)(h - m_d) - 3\varepsilon(4\Phi L + 2Lx - x^2)} \right], \quad (13.17)$$

где $\psi = 3k_e m_c / (L^2 + 6\Phi L)$. Направленность перемещения УГВ определяется соотношением между расходом дрены и инфильтрационным питанием. Так, сразу начнется подъем УГВ, если

$$\Delta m < \frac{\varepsilon(L^2 + 4\Phi L)}{2k_e m_c}.$$

При выполнении же условия

$$\Delta m > \frac{\varepsilon(L^2 + 4\Phi L)}{2k_e m_c}.$$

УГВ будет монотонно понижаться. В обоих случаях он будет асимптотически стремиться к устойчивому положению, которому на междренье отвечает отметка

$$m_d + \frac{\varepsilon(L^2 + 4\Phi L)}{2k_e m_c}.$$

Изменение одностороннего расхода дрены со временем описывается выражением

$$q(t) = k_e m_c \frac{h_0(t) - m_d}{2\Phi}, \quad (13.18)$$

где уровень над дренаей h_0 следует находить, решая подбором такое уравнение

$$t = \frac{\mu_c(h_0)}{\psi} \ln \left[\frac{4\Phi}{L + 4\Phi} \cdot \frac{2\psi(L + 6\Phi)\Delta m - 3\varepsilon(L + 4\Phi)}{2\psi(L + 6\Phi)(h_0 - m_d) - 12\varepsilon\Phi} \right]. \quad (13.19)$$

Также подбором приходится устанавливать ключевой конструктивный параметр. Рекомендуется вычислять расстояние L при заданных времени t_o и норме S_o осушения из уравнения

$$t_o = \frac{\mu_c(S_o)}{\psi} \ln \frac{2\psi(L)(L+6\Phi)\Delta m - 3\varepsilon(L+4\Phi)}{2\psi(L)(L+6\Phi)(M-S_o-m_d) - 3\varepsilon(L+4\Phi)}. \quad (13.20)$$

Очевидно, что расчетные зависимости из параграфа 13.4 фактически являются частным случаем уравнений (13.17), (13.18), (13.20) и формально могут быть выведены из последних, если устремить ε к 0.

13.6. Неустановившийся приток к подсистемам дренажа и проводящих каналов, кротовин

Подсистема проводящих каналов наряду с дренами принимает участие в осушительном процессе на мелиорированной территории, отводя часть избыточной воды из переувлажненного грунта (рис. 13.5). Ввиду существенно большего расстояния между каналами, даже несмотря на более глубокое заложение, их вклад в регулирование водного режима оказывается ощутимо меньшим [7]. Поэтому при учете действия каналов нет необходимости в теоретическом анализе плановой фильтрации. Вполне достаточно ограничиться рассмотрением действия подсистемы каналов независимо от дрен, а осушительные эффекты от обеих подсистем сложить. Тогда в расчетах фильтрационных характеристик и прежде всего УГВ оправдано воспользоваться второй методикой, т. е. формулами из подраздела 13.4. Эти же формулы пригодны и для случая совместного действия систематических дрен и кротовин, которые расположены перпендикулярно первым и способствуют ускоренному удалению воды из верхнего (пахотного) слоя грунта. И здесь уместен упрощенный подход ввиду близости кротовин к поверхности земли.

Порядок расчета действия систематического дренажа с учетом влияния регулярной сети каналов выглядит следующим образом. Прежде всего следует задаться сечением фильтрационного потока и УГВ в нем, например, на междренье принять значение H . Соответствующее ему значение коэффициента $\mu_c(H)$ и момент времени t_p вычисляются согласно (13.12). За данный промежуток времени при $\mu_c = \mu_c(H)$ УГВ здесь же, но под действием каналов опустится на величину ΔH_B , которую предлагается определять по аналогичной (13.16) формуле

$$\Delta H_B = \Delta m_B \cdot \exp \left[- \frac{3k_e m_c t_p}{\mu_c(H)(B^2 + 6\Phi_B B)} \right], \quad (13.21)$$

где $\Delta m_B = m_o - m_B$, m_B – уровень воды в каналах, B – половина расстояния между соседними каналами, Φ_B – фильтрационное сопротивление каналов. В итоге на момент t_p УГВ на междренье снизится примерно до отметки $H - \Delta H_B$.

Вычислять уточненное значение L при заданном B рекомендуется по формуле (13.14) при скорректированных норме осушения \tilde{S}_o и коэффициенте μ_c . Для этого по формуле (13.21) при $t = t_o$ и $\mu_c = \mu_c(S_o)$ находится поправка ΔH_{B0} . Тогда $\tilde{S}_o = S_o - \Delta H_{B0}$ и подправленные значения \tilde{S}_o , $\mu_c(\tilde{S}_o)$ подставляются в (13.14).

Регулярная подсистема кротовин обычно расположена близко к поверхности земли и служит для ускорения отвода избыточной воды из приповерхностной зоны почвогрунта [28]. Осушительный процесс в такой ситуации протекает в два этапа. На протяжении первого этапа УГВ быстро снижается благодаря совместному действию обеих подсистем. Заканчивается он к моменту t_k снижения УГВ до отметки кротовин m_k . Для определения времени t_k отслеживается понижение УГВ за счет не зависящих друг от друга притоков к дренам и кротовинам. Исходя из достигнутого к искомому моменту осушительного эффекта (в центре каждого участка дренирования к этому моменту УГВ находится на отметке m_k), составлено следующее уравнение

$$\Delta m \cdot \exp \left[- \frac{3k_e m_c t_k}{\mu_c(m_k)(L^2 + 6\Phi L)} \right] + \Delta m_k \cdot \exp \left[- \frac{3k_e m_c t_k}{\mu_c(m_k)(B_k^2 + 6\Phi_k B_k)} \right] = \Delta m_k, \quad (13.22)$$

где $\Delta m_k = m_o - m_k$, Φ_k – фильтрационное сопротивление кротовин, B_k – половина расстояния меж-

ду ними. Последующий расчет динамики УГВ (при $t > t_k$), поскольку работает одна, основная подсистема, выполняется по зависимостям из подраздела 13.4. При этом в качестве m_0 принимается m_k .

13.7. Неустановившаяся фильтрация при подпочвенном увлажнении почвогрунта

Длительная эвапотранспирация в отсутствие дождей нередко приводит к истощению запасов доступной для растений влаги. Обычно критическому водно-физическому состоянию почвогрунта сопутствует низкое стояние грунтовых вод, вследствие которого приток влаги с УГВ в корнеобитаемый слой оказывается слишком малым. Пагубные последствия дефицита почвенной влаги для урожая можно свести к минимуму или даже его избежать благодаря проведению подпочвенного увлажнения. Если конструкция дренажной системы предусматривает использование ее дрен в качестве увлажнителей, то важное значение приобретает прогноз их работы. На практике управляющее воздействие на водный режим переосушенного почвогрунта реализуется путем создания в дрене повышенного напора, который обуславливает очень быстрый подъем УГВ над дреной (в дренажной засыпке). Затем вода растекается в обе стороны, образуя на поверхности грунтовых вод языки (рис. 13.4). Таким образом, как и при первичном осушении, имеет место первый этап увлажнения. Очевидно, что должно пройти определенное время, чтобы соседние языки сомкнулись. Но поскольку это время, как правило, мало по сравнению с расчетным, то для инженерных целей им оправдано пренебрегать. Тогда динамику УГВ, обусловленную повышенным напором в дренах m_w , с незначительной погрешностью можно рассчитывать, используя зависимость:

$$t = \frac{L_w^2 + 6\Phi_w L_w}{3k_e m_c} \mu_w(h) \ln \frac{\Delta m_w (4\Phi_w L_w + 2L_w x - x^2)}{(L_w^2 + 4\Phi_w L_w)(m_w - h)}, \quad (13.23)$$

где индекс "w" означает, что характеристика (коэффициент, параметр), к которой он относится, отвечает увлажнительному процессу; $\Delta m_w = m_w - m_0$, среднее значение коэффициента осредненного недостатка насыщения μ_w в соответствии с (13.4) составляет:

$$\mu_w(h) = \frac{1}{3} [\mu(m_w) + \mu(m_0) + \mu(h)] = \frac{\alpha_w k^{\beta_w}}{3} [(M - m_w)^{\gamma_w} + (M - m_0)^{\gamma_w} + (M - h)^{\gamma_w}]. \quad (13.24)$$

На стадии проектирования дренажной системы особый интерес представляет обоснование расстояния между дренами-увлажнителями, а при ее эксплуатации – управляющий напор. Основной конструктивный параметр вычисляется, исходя из заданных времени t_w и нормы S_w (оптимальная глубина УГВ к концу увлажнительного мероприятия) увлажнения. Соответствующая формула для L_w вытекает из (13.23) и имеет следующий вид

$$L_w = \sqrt{\frac{3k_e m_c t_w}{\mu_w(S_w) \ln \frac{\Delta m_w}{m_w - M + S_w}} + 9\Phi_w^2 - 3\Phi_w}. \quad (13.25)$$

Рациональное значение параметра m_w также определяется на базе (13.23) при заданных t_w , S_w и, кроме того, L_w . Искомый технологический параметр присутствует в этой зависимости и в явном, и в неявном (в выражении для Φ_w (13.5)) виде. Поэтому точнее его находить непосредственно из зависимости (13.23), положив в ней $t = t_w$, $h = M - S_w$ и приняв для Φ_w (13.5). Но поскольку присутствие m_w в последней формуле мало сказывается на результатах его расчетов, то, принимая во внимание комментарии к формуле (13.5), с учетом (13.24) рекомендуется вычислять m_w подбором из уравнения

$$t_w = \frac{L_w^2 + 6\Phi_w L_w}{3k m_c (m_w)} \cdot \mu_w(m_w) \ln \frac{m_w - m_0}{m_w + S_w - M}. \quad (13.26)$$

13.8. Установившаяся фильтрация на фоне дренажа с учетом водообмена с сопредельными средами

Общее и в целом верное представление о роли и возможностях дренажа в долговременном управлении динамической составляющей водных ресурсов на мелиорированных землях зоны Полесья позволяет получить теоретический анализ его действия на базе стационарных моделей фильтра-

ции. Очевидно, что при таком подходе утрачивают смысл понятия времени и расчетного периода. В формировании указанной составляющей активное участие принимают суммарное испарение, напорное и инфильтрационное питание грунтовых вод (рис. 13.3) вместе с поверхностным стоком и другими менее значимыми факторами. Особое значение при моделировании фильтрации на фоне дренажа в вегетационный период сельскохозяйственных культур приобретает положение УГВ, так как от него существенно зависят: напрямую – водообмен грунтовых вод с напорным горизонтом и зоной аэрации, а опосредованно – водообмен с приземным слоем атмосферы. В принципе дренаж способен осуществлять надежный контроль за стабилизированным уровнем режимом почвогрунтов. При этом он обычно не в состоянии полностью сгладить колебания УГВ вследствие резких изменений погодных условий в упомянутый период, но, по крайней мере, благодаря его работе удается ощутимо уменьшить амплитуду таких колебаний и тем самым удерживать водно-физические условия в почвогрунте в допустимых пределах.

Вместе с тем применение дренажа приводит к неравномерности осушения почвогрунта, искривлению свободной поверхности, что затрудняет регулирование его водного режима в целом и уровня режима в частности. Как ранее отмечалось, интенсивность испарения и напорного питания достоверно описывается степенными функциями от отметки УГВ (13.2). Таким образом, дренаж может стать причиной выраженной неравномерности водообмена в грунтовой толще, так что его скорости вблизи дрены и на удалении от нее будут заметно отличаться [18]. Игнорирование данного обстоятельства ведет к недооценке или переоценке осушительного эффекта дренажа и серьезным ошибкам в расчетах УГВ. Следует заметить, что длительная благоприятная водно-физическая обстановка достигается на дренажных системах только с научно обоснованным расстоянием между дренами [37]. Подобное обоснование рекомендуется выполнять применительно к системам осушительного и увлажнительного дренажа с помощью приведенных в данном разделе расчетных зависимостей. Вытекают они из строгого решения соответствующей линейной стационарной задачи, содержащей уравнение фильтрации с переменным свободным членом. Указанное решение имеет интегральную форму, если показатель степени p в выражении (13.2) не принимает целочисленные значения, что осложняет инженерные расчеты. Однако в вычислительной практике часто полагают $p = 1$ [9], а другие коэффициенты в (13.2) при необходимости корректируются. Как раз при таком значении p выведены и приведены ниже зависимости, уравнения, в которых учитывается неравномерность испарения и напорного питания по площади дренируемой территории при стабильном на ней уровне режиме. Кроме того, даны приближенные формулы для расчета УГВ и расстояния L , которые проще и пригодны при любых значениях L .

Итак, принимая во внимание криволинейность свободной поверхности между дренами и в связи с этим изменения интенсивности испарения и напорного питания, положение УГВ при $p = 1$ рекомендуется определять на основе зависимости:

$$h(x, H) = \frac{1}{2a\varphi} [(\varphi - b)^2 + a^2 H^2 + 2abH]. \quad (13.27)$$

Здесь $\varphi(x, H) = (aH + b) \exp\left(-\sqrt{\frac{a(x-L)^2}{k_e m_c}}\right)$, функция водообмена $G(h) = ah + b$, $a = \varepsilon_e + \frac{k_s}{m_s}$,

$b = -\frac{k_s}{m_s} H_s - \varepsilon - \varepsilon_e h_k$, $m_c = \frac{m_d + H}{2}$ (в случае мощных водоносных толщ m_c допустимо принимать равным m_d), H – УГВ на междренье, которое следует вычислять подбором из уравнения:

$$\frac{km_c}{4\Phi^2} [h_0(H) - m_d]^2 = ah_0^2(H) + 2bh_0(H) - aH^2 - 2bH. \quad (13.28)$$

При этом УГВ над дренаей h_0 выражается через H следующим образом:

$$h_0(H) = \frac{1}{2a\varphi_0} [(\varphi_0 - b)^2 + a^2 H^2 + 2abH], \quad (13.29)$$

где $\varphi_0(H) = (aH + b) \exp\left(-\sqrt{\frac{aL^2}{k_e m_c}}\right)$. Для установления положения УГВ на междренье достаточно решить подбором относительно H уравнение (13.28), в котором функция напора над дренаей описы-

вается выражением (13.29). По существу, необходимо найти один из четырех корней алгебраического уравнения четвертой степени. Очевидно, что физический смысл имеет только тот корень, значение которого находится в пределах от m_d до M (осушительный дренаж). При известном H просто определяется отметка УГВ в любом другом сечении фильтрационного потока по формуле (13.27). Наконец, с помощью (13.28) и (13.29) несложно установить расстояние L , при котором на междренье УГВ будет стабильно поддерживаться на отметке $H_o = M - S_o$. Оно точно в рамках принятой математической модели вычисляется по формуле

$$L = -\sqrt{\frac{k_e m_c}{a}} \ln \left[\frac{G(h_o(H_o))}{G(H_o)} - \sqrt{\frac{G^2(h_o(H_o))}{G^2(H_o)} - 1} \right], \quad (13.30)$$

где

$$h_o = \frac{2\Phi^2}{4a\Phi^2 - k_e m_c} \left[\sqrt{\left(2b + \frac{k_e m_c m_d}{2\Phi^2}\right)^2 + 4\left(a - \frac{km_c}{4\Phi^2}\right)\left(aH_o^2 + 2bH_o + \frac{k_e m_c m_d^2}{4\Phi^2}\right)} - 2b - \frac{k_e m_c m_d}{2\Phi^2} \right].$$

Расчетные формулы значительно упрощаются, если считать величину G постоянной и, кроме того, равной своему значению на междренье, т. е. $G(H)$. Тогда при фактически наименьшей (или наибольшей) интенсивности общего водообмена с некоторой погрешностью УГВ при $x = L$ будет

$$H = \frac{2k_e m_c m_d - b(L^2 + 4L\Phi)}{2k_e m_c + a(L^2 + 4L\Phi)}. \quad (13.31)$$

Расстояние L при заданной норме осушения просто определяется следующим образом

$$L = \sqrt{4\Phi^2 - \frac{2k_e m_c (H_o - m_d)}{G(H_o)}} - 2\Phi. \quad (13.32)$$

13.9. Неустановившийся приток к одиночной самоизливающейся скважине

Вертикальный дренаж способен оказывать сильное воздействие на фильтрационную обстановку в водоносных толщах при сравнительно небольших капитальных и эксплуатационных затратах [9, 14]. Ввиду значительного сопротивления, которое испытывает движущаяся в пористой среде жидкость, возмущение фильтрационного режима, обусловленное действием вертикальной дрены, так же как и горизонтальной, локализовано вблизи нее. Благодаря откачкам с большим дебитом, созданию малого напора в фильтрах скважин удается существенно интенсифицировать фильтрационный процесс. Однако при этом аналогичным образом усиливается за счет резкого искривления свободной поверхности неравномерность распределения запасов грунтовой воды на дренируемой территории. Для регулирования уровня режима земель сельскохозяйственного назначения предпочтительнее использовать самоизливающиеся скважины, так как вследствие постоянства напора в них снижение УГВ по площади происходит более равномерно. Здесь и в следующем параграфе излагаются методики инженерного расчета действия подобных одиночной скважины (рис. 13.8) и многочисленной группы регулярно расположенных скважин (систематический дренаж), причем расчетные зависимости даны в безразмерной форме [19]. Несовершенство скважин учитывают с помощью общего фильтрационного сопротивления. В первой методике предметом расчетов стали УГВ (пьезометрическая поверхность) и дебит скважины, а побочным результатом – протяженность зоны ее влияния.

Итак, относительные понижение УГВ от начальной отметки m_0 и убывание дебита скважины со временем предлагается рассчитывать в зависимости от также относительного радиуса зоны влияния \bar{R} по следующим формулам

$$\bar{S}(\bar{r}, \bar{R}) = \frac{\bar{r} - \bar{R} - \bar{R} \ln \frac{\bar{r}}{\bar{R}}}{\bar{R} \ln \bar{R} + (1 - \Phi_c)(1 - \bar{R})}, \quad (13.33)$$

$$\bar{q}(\bar{R}) = \frac{\bar{R} - 1}{\bar{R} \ln \bar{R} + (1 - \Phi_c)(1 - \bar{R})}. \quad (13.34)$$

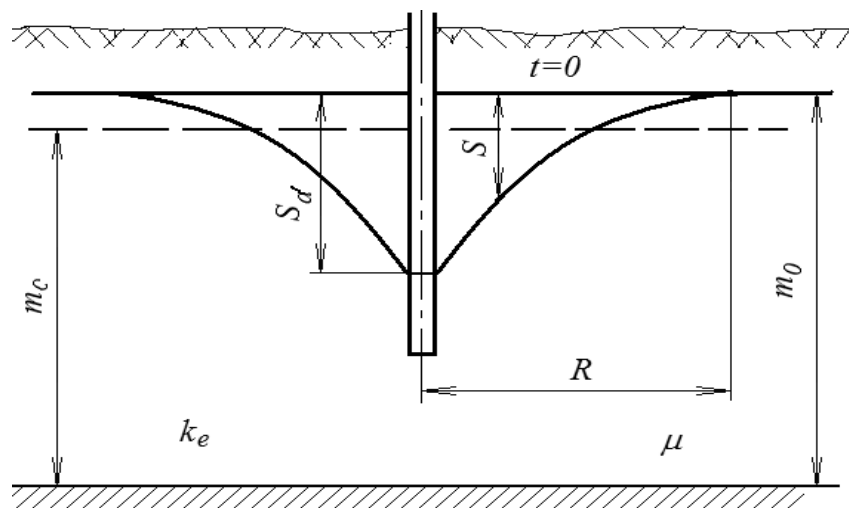


Рис. 13.8. Фильтрационная схема к расчету одиночной несовершенной самоизливающейся скважины

Фактически \bar{R} в выражениях (13.33), (13.34) выступает в роли параметра, который во времени формально меняется от 1 до ∞ , так как зона влияния скважины в принципе может расширяться неограниченно. Соответствующая закономерность $\bar{R}(\bar{t})$ выведена в виде обратной интегральной функции, а именно:

$$\bar{t} = \frac{1}{12} \int_1^{\bar{R}} \frac{P_1(\xi) + \Phi_c P_2(\xi)}{\xi [\xi \ln \xi - (1 - \Phi_c)(\xi - 1)]} d\xi, \quad (13.35)$$

где $P_1(\xi) = 2(\xi^3 - 1) \ln \xi - 3(\xi^2 - 1)$,

$P_2(\xi) = 2\xi^3 - 3\xi^2 - 6\xi + 7$,

а относительные переменные и параметры в (13.33)–(13.35) введены таким образом:

$\bar{S} = \frac{S}{S_d} = \frac{m_0 - h}{S_d}$, $\bar{r} = \frac{r}{R_d}$, $\bar{R} = \frac{R}{R_d}$, $\bar{t} = \frac{k_e m_c t}{\mu_c R_d^2}$, $\bar{q} = \frac{q}{2\pi k_e m_c S_d}$, S_d – постоянное понижение напора в

скважине радиусом R_d , комментарии по поводу коэффициента μ_c даны во втором параграфе. Для определения конкретных положения УГВ и расхода скважины изначально следует задаться значением \bar{R} , а затем с помощью Mathcad или других аналогичных пакетов программ по формуле (13.35) вычислить отвечающий ему момент времени. На этот же момент УГВ и дебит находятся по формулам (13.33), (13.34).

13.10. Неустановившийся приток к регулярной системе самоизливающихся скважин

Активно влияют на уровеньный режим сельскохозяйственных земель регулярные системы самоизливающихся скважин (рис. 13.9). Необходимый эффект осушения почвогрунта может быть достигнут с их помощью благодаря рациональному выбору на стадии проектирования междренного расстояния, а в процессе эксплуатации – напора в скважине. Представленная ниже последняя методика прежде всего позволяет заблаговременно отслеживать перемещение свободной поверхности и уменьшение со временем дренажного расхода, а вместе с тем теоретическим путем обосновывать расстояние между скважинами и напор в них, при которых будут обеспечены заданные норма S_0 и время t_0 осушения.

Пусть в течение расчетного периода на УГВ поступает вода интенсивностью ε (рис. 13.7). Прежде всего выделяется фиксированная зона влияния произвольной внутренней скважины. Если скважины расположены в шахматном порядке с расстоянием между соседними $2L$, то указанная зона представляет собой в плане квадрат. Она условно заменяется равновеликим по площади кругом, радиус R_e которого связан с L соотношением

$$R_e = 2L / \sqrt{\pi}$$

и фигурирует во всех расчетных зависимостях.

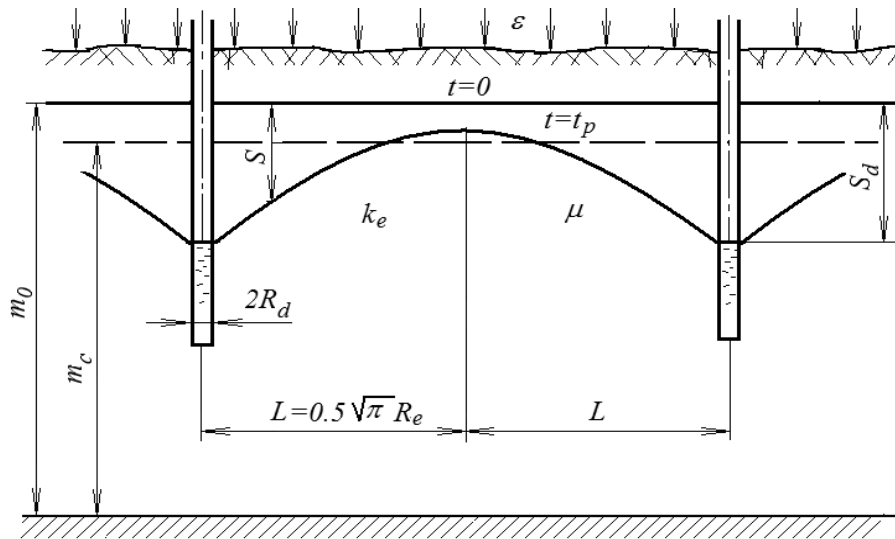


Рис. 13.9. Фильтрационная схема к расчету регулярной системы несовершенных самоизливающихся скважин

Первая из них позволяет аккуратно определять перемещение со временем свободной (пьезометрической) поверхности по следующей формуле

$$\bar{S}(\bar{r}, \bar{t}) = 1 - \frac{\bar{\varepsilon}}{2} \theta(\bar{r}) - \left[1 - \frac{\bar{\varepsilon}}{2} \theta(\bar{R}_e) \right] \frac{\bar{R}_e \ln \bar{r} - \bar{r} + \Phi_c \bar{R}_e - \Phi_c + 1}{\bar{R}_e \ln \bar{R}_e - \bar{R}_e + \Phi_c \bar{R}_e} e^{-\frac{\bar{t}}{\psi}}, \quad (13.36)$$

где $\bar{\varepsilon} = \frac{R_d^2 \varepsilon}{k_e m_c S_d}$, $\theta(\bar{r}) = \bar{R}_e^2 \ln \bar{r} - \frac{\bar{r}^2}{2} + \Phi_c \bar{R}_e^2$, $\bar{R}_e = \frac{R_e}{R_d}$, $\psi = \frac{\bar{R}_e^2}{2} \left(\ln \bar{R}_e + \Phi_c - \frac{7}{6} \right)$.

Убывание относительного дебита скважин Q со временем описывается зависимостью

$$\bar{Q}(\bar{t}) = \frac{Q(t)}{2\pi k_e m_c S_d} = \frac{\bar{\varepsilon} \bar{R}_e^2}{2} + \left[1 - \frac{\bar{\varepsilon}}{2} \theta(\bar{R}_e) \right] \frac{e^{-\frac{\bar{t}}{\psi}}}{\ln \bar{R}_e + \Phi_c - 1}. \quad (13.37)$$

Исходя из (13.36), выводится уравнение относительно радиуса \bar{R}_O , решение которого позволяет при заданных \bar{t}_O , \bar{S}_O находить подбором его рациональное значение, а именно:

$$\bar{S}_p = \bar{S}_O - \frac{M - m_0}{S_d} = \left[1 - \frac{\bar{\varepsilon}}{2} \theta(\bar{R}_O) \right] \left[1 - e^{-\frac{\bar{t}_O}{\psi(\bar{R}_O)}} \right]. \quad (13.38)$$

Если инфильтрационным питанием можно пренебречь, то формулы и уравнение (13.36)–(13.38) упростятся к такому виду

$$\bar{S}(\bar{r}, \bar{t}) = 1 - \frac{\bar{R}_e \ln \bar{r} - \bar{r} + \Phi_c \bar{R}_e - \Phi_c + 1}{\bar{R}_e \ln \bar{R}_e - \bar{R}_e + \Phi_c \bar{R}_e} e^{-\frac{\bar{t}}{\psi}}, \quad (13.39)$$

$$\bar{Q}(\bar{t}) = \frac{e^{-\frac{\bar{t}}{\psi}}}{\ln \bar{R}_e + \Phi_c - 1}, \quad (13.40)$$

$$\frac{\bar{R}_O^2}{2} \left(\ln \bar{R}_O - \frac{7}{6} + \Phi_c \right) = -\frac{\bar{t}_O}{\ln(1 - \bar{S}_p)}. \quad (13.41)$$

Итак, для всестороннего теоретического анализа развития фильтрационной обстановки под действием двух типов дренажа в специфических природных условиях Полесья разработан ряд инженерных методик. Они позволяют выполнять достоверный прогноз пространственно-временных изменений важнейших фильтрационных характеристик, и в первую очередь уровня грунтовых вод и дренажного расхода, обосновывать конструктивные параметры, а именно глубину заложения дрен, а для регулярных дренажных систем также расстояние между дренами, исходя из требований оптимизировать водный режим почвогрунтов в заданные сроки. основополагающее значение имеют методики расчета действия, а вместе с тем и ключевого конструктивного параметра системы осушительного

дренажа применительно к ответственным для ее работы периодам времени. Базовые методики дополняются методиками, которые позволяют анализировать динамику уровней на дренируемых территориях в особых, а с формальной точки зрения более сложных условиях.

Альтернативой горизонтальному дренажу при регулировании водного режима сельскохозяйственных земель может служить система самоизливающихся скважин. Выявить преимущество и недостатки их применения еще при проектировании, а также их эксплуатировать с наибольшей отдачей дают возможность две последние методики. В заключение следует подчеркнуть, что все представленные методики, кроме одной, базируются на приближенных решениях одномерных (осесимметричных) задач неустановившейся фильтрации на фоне дренажа. Поэтому в проведенных обстоятельных теоретических исследованиях большое внимание было уделено оценке точности указанных решений. При этом установлено, что в рамках линейной гидравлической теории фильтрации все выведенные и рекомендованные для инженерных расчетов зависимости и уравнения позволяют искомым характеристикам и параметрам определять с минимальной (порядка нескольких процентов) погрешностью.

Если же пределы изменения УГВ сопоставимы с мощностью водоносного пласта, а связь интенсивности водообмена между насыщенной и ненасыщенной зонами почвогрунта с положением и скоростью перемещения УГВ носит выражено нелинейный характер, то линеаризация исходных фильтрационных моделей может приводить к серьезным погрешностям в вычислениях. В таких случаях использовать представленные в данной главе расчетные формализмы нецелесообразно, а следует опираться на нелинейную теорию дренажа, в частности, привлекая новые разработки в этом направлении [21, 22].

Литература

1. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. – М.: Колос, 1982. – 237 с.
2. Алексеев В. С., Коммунар Г. М. Кольматаж фильтров и прифильтровых зон водозаборных скважин // Водные ресурсы. – 1974. – № 5. – С. 170–177.
3. Башкис К. К. К вопросу анализа расчетных методов горизонтального дренажа // Труды Лит. НИИГиМ. Вопросы осушения земель гончарным дренажем. – Елгава, 1974. – IX. – С. 5–24.
4. Ведерников В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. – М.: Госстройиздат, 1939. – 248 с.
5. Дмитриев А. Ф., Безусьяк А. В., Хлапук Н. Н. Совершенствование осушительно-увлажнительных систем. – Львов: Світ, 1992. – 176 с.
6. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления / Н. Г. Пивовар, Н. Г. Бугай, В. Л. Фридрихсон [и др.]. – Киев: НАНУ. Институт гидромеханики, 2000. – 332 с.
7. Ивицкий А. И. Основы проектирования и расчетов осушительных и осушительно-увлажнительных систем. – Минск: Наука и техника, 1988. – 311 с.
8. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я. Осушительно-увлажнительные системы. – М.: Колос, 1981. – 280 с.
9. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / С. В. Васильев, Н. В. Веригин, Б. А. Глейзер [и др.]. – М.: Колос, 1970. – 440 с.
10. Мурашко А. И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне. – М.: Колос, 1982. – 272 с.
11. Анализ результатов расчета расстояний между дренами по различным методикам / А. В. Мясков, Е. С. Семиринов, М. А. Журавлев [и др.] // Вопросы проектирования бестраншейного дренажа. – Л.: СевНИИ-ГиМ, 1982. – С. 67–83.
12. Наседкин И. Ю. Питание переувлажненных земель Полесья напорными водами и его изучение // Мелиорация и водное хозяйство. – 1981. – Вып. 53. – С. 25–29.
13. Насиковский В. П., Шапран В. Я. Экспериментальное определение коэффициента водоотдачи и недостатка насыщения // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – Вып. 19. – С. 134–142.
14. Олейник А. Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. – Киев: Наук. думка, 1978. – 202 с.
15. Олейник А. Я. Геогидродинамика дренажа. – Киев: Наук. думка, 1981. – 284 с.
16. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. – Киев: Наук. думка, 1987. – 280 с.
17. Основы гидрогеологических расчетов / Ф. М. Бочеввер, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев [и др.]. – М.: Недра, 1969. – 386 с.
18. Поляков В. Л. Расчет установившегося действия системы дренаж-увлажнителей в условиях интенсивного испарения // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідраліки. – Киев: КНУБА, 2012. – Вып. 20. – С. 80–87.
19. Поляков В. Л. Фильтрационные деформации в дренируемых грунтах: теория и приложения. – Киев: Аграр Медиа Групп, 2014. – 382 с.
20. Поляков В. Л. О моделировании регулируемого водного режима в колонке грунта // Доп. НАН України. – 2016. – № 9. – С. 51–60.

21. Поляков В. Л. Расчет действия одиночной несовершенной горизонтальной дрены в неограниченном в плане безнапорном пласте с учетом зоны аэрации // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 5. – С. 21–31.
22. Поляков В. Л. Расчет установившейся безнапорной фильтрации к систематическому дренажу при водообмене с сопредельными средами // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідраліки. – Киев: КНУ-БА, 2016. – Вип. 27. – С. 291–301.
23. Поляков В. Л., Калугин Ю. И. Математическое моделирование водообмена между насыщенной и ненасыщенной зонами дренируемого грунта // Доп. НАН України. – 2016. – № 9. – С. 43–49.
24. Тищенко О. Регулювання водного режиму ґрунтів на системах двосторонньої дії в Поліссі України // Водне господарство України. – 2014. – № 6 (114). – С. 35–39.
25. Тугай А. М., Олійник О. Я., Тугай Я. А. Продуктивність водозабірних свердловин в умовах кольматажу. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 240 с.
26. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв : метод. руководство / Е. В. Шеин, Т. А. Архангельская, В. М. Гончаров [и др.] ; под ред. Е. В. Шеина. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 200 с.
27. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. – М.: Изд-во МГУ, 1965. – 233 с.
28. Эггельсман Р. Руководство по дренажу. – М.: Колос, 1984. – 247 с.
29. Янголь А. М. Двухстороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 136 с.
30. Lennox-Gratin Ch. Effect of envelopes on flow pattern near drain pipe // J. of Irrig. and Drain. Engrg., ASCE. – 1989. – 115, № 4. – P. 626–641.
31. Pinck-Pfeiffer S., Ragusa S., Sztajn bok P., Vandeveld I. Interrelationships between biological, chemical and physical processes as an analog to clogging in aquifer storage and recovery (ASP) wells // Water Res. – 2000. – 34, № 7. – P. 2110–2118.
32. Shih S. F. Soil surface evaporation and water table depth // J. of Irrig. and Drain. Div., ASCE. – 1983. – 109, № 4. – P. 366–376.
33. Skaggs R.W. Effects of drain tube openings on water – table drawdown // J. of Irrig. and Drain. Div., ASCE. – 1978. – 104, № 1. – P. 13–21.
34. Van der Pboeg R. R., Kirkham M. B., Marquardt M. The Golding equation for soil drainage: its origin, evolution and use // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1999. – 63. – P. 33–39.
35. Van Genuchten M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – 44. – P. 892–898.
36. Watson K., Whisler F. Comparison of drainage equations for the gravity drainage of stratified profiles // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. – 1976. – 40, № 5. – P. 631–635.
37. Wenyan W., Bing S., Zhilu L. Drain-spacing calculation considering influence of evaporation // J. of Irrig. and Drain. Engrg., ASCE. – 1994. – 120, № 3. – P. 563–572.
38. Willardson L. S., Walker R. E. Synthetic drain envelope-soil interactions // J. of Irrig. and Drain. Div., ASCE. – 1979. – 105, № 4. – P. 367–373.

Глава 14. ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДПОЧВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА И ПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ КАНАЛОВ В ДЕРНОВОЙ И ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ

14.1. Регулирование водного режима минеральных переувлажненных почв и пути его совершенствования

Практика использования мелиорируемых земель в Украине показывает, что обычные осушительные системы работают преимущественно на сброс избыточных вод и не обеспечивают необходимый для культурных растений водный режим почвы в засушливые периоды вегетации. Как свидетельствуют многолетние исследования А. М. Янголя [75], водный режим осушаемых земель зависит в основном от погодных условий. Его неустойчивость вызванная колебаниями метеорологических факторов, сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. Наиболее высокие урожаи бывают в средние по влагообеспеченности годы, наиболее низкие – в засушливые. Выводы о необходимости дополнительного увлажнения подтверждаются также исследованиями баланса почвенной влаги [12, 18].

Восполнение недостатка почвенной влаги путем увлажнения, как показали исследования многих ученых и практика передовых хозяйств страны, дает значительные прибавки урожаев не только в засушливые, но и в средние по осадкам годы [12, 21, 22, 30, 54, 58, 61].

В настоящее время в гумидной зоне распространены два основных метода дополнительного увлажнения – дождевание и подпочвенное увлажнение с помощью каналов и дрен. Каждому из них присущи свои достоинства и недостатки. Дождевание является более оперативным, то есть позволяет за короткий промежуток времени подать на поля необходимую поливную норму. Кроме этого, при дождевании происходит увлажнение приземной части воздуха и создается необходимый для растений микроклимат. Недостатком же этого способа являются значительная стоимость дождевальной техники и высокие эксплуатационные расходы. Дождевание малоэффективно на легких почвах, имеющих высокую водопроницаемость, так как из-за хозяйственных и технологических причин трудно провести частые поливы своевременно [12]. Именно на таких почвах подпочвенное увлажнение имеет ряд преимуществ перед дождеванием. Во-первых, оно обходится значительно дешевле при строительстве и эксплуатации; во-вторых, отсутствуют потери воды на испарение в воздухе; в-третьих, затраты на строительство дренажа окупаются значительно быстрее [8, 22].

Подпочвенное увлажнение может быть осуществлено двумя способами: путем длительного подпора грунтовых вод или путем циклических подъемов и опусканий уровня грунтовых вод (УГВ). Разновидностью первого является предупредительное шлюзование, которое проводится на системах при отсутствии дополнительного водоисточника. Большинство специалистов считает, что более эффективным является циклическое увлажнение, которое обеспечивает интенсивный обмен почвенного воздуха и способствует прогреванию почвы. Однако этот способ требует значительных затрат труда и непроизводительных потерь воды [9, 12, 14, 20].

Вопросы технологии подпочвенного увлажнения (определение сроков полива, поливных и оросительных норм, создание напора в дренах, скорость и высота подъема УГВ) взаимосвязаны.

Расчет режима увлажнения проводят по уравнению водного баланса активного слоя почвы приводится в специальной литературе [12 и др.].

Определенные трудности возникают при определении количества воды, необходимой для подъема УГВ или поливной нормы. При проведении подпочвенного увлажнения важным вопросом является также техника подачи воды по дренам (напоры над устьем коллектора, продолжительность увлажнения, влияние параметров регулирующей сети и т.д.). Большинство исследователей указывает, что для эффективного увлажнения при уклоне дрен 0,002–0,003 минимальный напор над устьем коллектора должен составлять 0,7–0,8 м [19, 20]. В случае применения безуклонного дренажа значение напора уменьшается до 0,3 м [24]. Увеличение напора выше указанных значений приводит к резкому увеличению скорости и высоты подъема УГВ [5, 6, 7]. На интенсивность подъема УГВ при осуществ-

влении подпочвенного увлажнения оказывают существенное влияние увеличение диаметра дрен и сокращение расстояния между дренами. Последнее рекомендуется определять путем уменьшения на 30–40 % значения междренних расстояний, определенных для условий осушения [40, 44, 50].

Процесс движения грунтовых вод при подпочвенном увлажнении еще более сложный, чем при осушении. На увлажняющее действие дренажа влияет испарение с поверхности грунтовых вод, аккумулирующая емкость почвы и ряд других факторов, которые в условиях полного влагонасыщения почвы имеют менее важное значение. Поэтому применение аналитических зависимостей, как правило, полученных в режиме осушения, для расчета динамики УГВ при подпочвенном увлажнении приводит к значительным расхождениям с данными эксперимента. Этим объясняется тот факт, что большинство разработок по вопросам режима и техники подпочвенного увлажнения получены на основании натуральных экспериментов, проведенных в различных природно-климатических зонах страны с учетом конкретных грунтовых условий объектов. Результаты подобных работ оказались наиболее приемлемыми для практических целей.

Элементы технологии подпочвенного увлажнения находятся в тесной зависимости от параметров и конструкций регулирующей и проводящей сети. Поэтому эффективность подпочвенного увлажнения в первую очередь зависит от правильности выбора параметров дренажа.

Основными методами расчета дренажа являются теоретический и эмпирический. В настоящее время разработано большое количество теоретических зависимостей для определения расстояний между дренами [1, 4, 7, 13, 23].

Из эмпирических методов наиболее широкое распространение получил метод определения расстояний между дренами по гранулометрическому составу почвы. Им пользуются в Чехии, Германии, Польше и некоторых республиках бывшего СССР [25, 27].

В последние годы разработаны комплексные методы определения расстояний между дренами, что в той или иной степени учитывают оба указанных метода. При этом в расчет вводятся поправочные коэффициенты для определения гидрогеологических и рельефных особенностей, условий заболачивания, химических свойств почвы и др. [46, 68].

Комплексные методы разработаны на основе многолетних натуральных наблюдений и, как правило, дают хорошие результаты. Правильность расчета расстояний между дренами в данном регионе зависит от полноты учета факторов, влияющих на интенсивность осушения и приток воды к дрене. Расстояние между дренами является основным параметром регулирующей сети и определяет интенсивность осушения.

Интенсивность осушения (или снижение УГВ) повышается с увеличением диаметра и глубины заложения дрен, а также при улучшении конструкции, материала и качества укладки дренажных фильтров. Каждое из перечисленных условий неизбежно приводит к росту стоимости строительства дренажа, но позволяет увеличить междреннее расстояние без снижения интенсивности осушения. Выбор оптимального варианта осуществляется на основании технико-экономических расчетов с учетом конкретных климатических и хозяйственных условий.

Эффективным способом увеличения интенсивности осушения является совершенствование конструкции дрен (увеличение диаметра, применение качественно новых защитно-фильтрующих материалов и др.).

Преимущества дренажа увеличенного диаметра не исчерпываются ростом интенсивности осушения. Эти дренажи можно проектировать более длинными благодаря увеличению пропускной способности, что влечет за собой, в свою очередь, ряд других преимуществ. Во-первых, сокращается общая протяженность, количество коллекторов и соответственно устьевых сооружений; во-вторых, уменьшается количество соединений, устройство которых является наиболее трудоемким при строительстве и наименее надежным при эксплуатации; в-третьих, применение дрен увеличенного диаметра позволяет проектировать малоуклонные и безуклонные дренажи, а это особенно важно на местности со слабо выраженным рельефом, где раньше дрены придавали искусственный уклон; в-четвертых, мелиоративные системы с дренами увеличенного диаметра в целом более надежны в эксплуатации [65, 67].

Важным фактором повышения интенсивности действия керамического дренажа являются дренажные фильтры.

В недалеком прошлом дренажным фильтрам отводилась лишь функция защиты стыков от попадания в них частиц почвы. Но, как показали исследования последних лет, правильно подобранный фильтр значительно улучшает также условия поступления воды в дренаж и тем самым увеличивает ее водопримную способность.

Применение стекловолокна способствовало уменьшению гидравлических сопротивлений в 7 и более раз, а торфяных матов – почти в 100 раз. При выборе фильтра для защиты дренажей от заиливания следует также учитывать его влияние на проточность воды в дренажах.

Изменение притока воды в дренаж в зависимости от свойств землеройно-фрезерной машины (ЗФМ) и конструкции трубок освещены в трудах многих отечественных и зарубежных авторов [19, 23, 24].

Отличия в действии керамических дренажей различных диаметров и конструкций фильтра объясняются степенью несовершенства дренажа по водопримной поверхности, которая выражается в уменьшении притока в реальной дренажной системе по сравнению с идеальной [27, 28].

Большинство исследований о несовершенстве дренажей по водопримной способности выполнены в условиях лабораторных опытов или на основании теоретических разработок [25, 44, 60 и др.]. Но достаточно надежные данные о водопримной способности той или иной дренажной конструкции можно получить только экспериментальным путем в условиях реальных мелиоративных систем, поскольку невозможно построить математическую или физическую модель, которая с необходимой полнотой учитывала бы всю совокупность взаимосвязанных факторов, определяющих характер поступления грунтовых вод в дренаж. Однако, используя отдельные теоретические зависимости, описывающие поступления воды в дренаж, и дополняя их экспериментальным материалом, удастся с необходимой точностью оценить влияние конструкции дренажа на величину притока.

Регулирующее действие дренажа в значительной степени определяется его техническим состоянием, поэтому учет последнего при изучении вопросов технологии регулирования водного режима особо важен.

При осушении заболоченных почв интенсивное воздействие оказывает не только регулирующая сеть, но и проводящая (открытые коллекторы и магистральные каналы).

Таким образом, обобщение результатов научных исследований и краткий анализ практики проектирования мелиоративных систем показывают, что гидрологическое действие и эффективность закрытого дренажа зависят от множества факторов, среди которых наряду с почвенно-климатическими, гидрогеологическими и рельефными условиями объекта, значительную роль играют параметры и конструктивные элементы регулирующей и проводящей сети.

При этом разработанные и применяемые в настоящее время при проектировании осушительно-увлажнительных систем (ОУС) методы расчета параметров дренажа не позволяют с достаточной точностью учитывать разнообразие конструкций мелиоративных систем и их элементов проводящей и регулирующей сети системы. Подпочвенное увлажнение на мелиоративных системах Западного Полесья Украины проводится не на должном уровне, поскольку вопросы расчета режима и техники подпочвенного увлажнения до конца еще не решены и требуют проведения соответствующих исследований.

14.2. Общая характеристика района и объекта исследований

14.2.1. Климатические и почвенные условия Западного Полесья Украины. Западное Полесье Украины находится в южной части Полесской низменности с абсолютными отметками 150–200 м и малыми уклонами поверхности (менее 0,0008). При слабо выраженном микрорельефе здесь развит аккумулятивный мезорельеф, образованный в основном неравномерным формированием ледниковых отложений и дальнейшей деятельностью ветров. Климатическая характеристика района исследований приведена на основании данных наблюдений на метеостанциях Олевск, Сарны, Дубровица и метеопоста Куйбышево.

Климат Западного Полесья умеренный с мягкой зимой и влажным летним периодом. Среднегодовая температура воздуха равна 6,5 °С. Средняя температура воздуха самого холодного месяца (января) составляет –5 °С, а самого теплого (июля) + 19 °С. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью происходит в третьей декаде ноября, а весной – в третьей декаде марта. Снежный покров устанавливается 5–12 декабря и сходит 14–21 марта. Средняя мощность его 0,35 м. Высота снега перед таянием весной бывает в интервале 0,1–0,25 м. В холодные и малоснежные зимы почва

промерзает на глубину 0,12-0,13 м, а в обычные – до глубины 0,5–0,7 м, в зимние периоды происходит несколько оттепелей, причем в отдельные годы с полным исходом снежного покрова.

Среднегодовое количество атмосферных осадков 624 мм, в период с апреля по октябрь выпадает 382 мм. Экстремальные наблюдаемые значения годовых осадков 896,6 мм (1978 г.) и 414,4 мм (1963 г.). В теплый период года осадки выпадают в виде затяжных, так и ливневых дождей. Суммарное испарение за год составляет 500 мм, в холодные периоды – не более 60 мм.

Превышение осадков над испарением, слабое дренирование территории и почти повсеместное высокое залегание грунтовых вод способствуют переувлажнению и заболачиванию почв.

Почвообразующие породы в регионе представлены комплексом водно-ледниковых и аллювиальных отложений преимущественно песчаного и супесчаного гранулометрического состава. Для всех этих пород характерны безкарбонатность, отсутствие водорастворимых солей, малая водоудерживающая способность и низкая емкость катионного обмена, то есть благоприятные условия для формирования почв дерново-подзолистого типа.

Дерново-подзолистые и дерново-слабоподзолистые почвы занимают около 60 % территории Полесья. Они распространены на моренных холмах и грядах, зандровых и террасных равнинах. Сформировались под сосновыми, сосново-дубовыми и сосново-дубово-грабовыми лесами с достаточно хорошо развитым травянистым покровом в условиях периодического поверхностного переувлажнения и промывного водного режима. В связи со слабым дренированием территории и близким залеганием УГВ около 60 % подзолистых почв относится к глеевым.

На втором месте по площади (около 20 %) находятся луговые и дерновые почвы, которые распространены на пойменных террасах рек, в отдельных слабосточных понижениях надпойменных террас и водоразделов. Эти почвы формируются под травянистой растительностью в условиях постоянного подтопления грунтовыми водами, что приводит к оглеиванию нижней части почвенного профиля.

Третье место по площади (10 %) занимают торфяники и торфяно-болотные почвы. Они залегают на пойменных террасах рек и днищах долин. В торфяно-болотных почвах мощность торфяного слоя составляет 0,2–0,4 м, под ним залегает глеевой горизонт. В торфяниках мощность торфа колеблется от 0,4 до 2–3 м [24, 62].

13.4.2. Характеристика объекта исследований. Исследования регулирующего действия закрытого дренажа проведены в 1977–1982 гг. на Кишинской ОУС в Олевском районе Житомирской области. Данная система во всех отношениях (рельеф, почвы, водное питание и т. д.) типична для Западного Полесья Украины. Она занимает 3477 га и расположена на землях трех хозяйств: им. Калинина, «Искра» и «Кишинского» (рис. 14.1).

Хозяйства специализируются на выращивании хмеля, плантации которого составляют 2,8 % сельхозугодий. На остальной площади выращиваются зерновые культуры (рожь, пшеница, ячмень, овес), картофель, кормовая свекла, многолетние травы и лен.

Кишинская ОУС находится в средней части Западного Полесья в бассейне р. Уборть, примыкая непосредственно к ее правому берегу. Территория района исследований является зандровой равниной на кристаллической основе. На докембрийских гранитах и гнейсах развиты пески и супеси флювиогляциального происхождения.

В рамках системы выделяются два водоносных комплекса: в четвертичных отложениях и в трещиноватой зоне докембрийских кристаллических пород и продуктов их разложения. На глубине 10–15 м водоносные горизонты разделены водоупором, образованным каолинами коры выветривания. Водоупор не имеет сплошного распространения, просто отсутствует в районе с. Кишин, в долине реки Уборть и на западе системы. Кроме того, в водоупоре имеются мелкие геологические «окна».

При наличии водоупора уровни дочетвертичного комплекса на 1–2 м ниже уровня грунтовых вод. В местах отсутствия водоупора уровни обоих водоносных горизонтов совпадают. Разгрузка водоносного комплекса осуществляется в долине р. Уборть, с частичным переходом в четвертичный водоносный комплекс. В районе с. Кишин есть отдельные источники, которые разгружают трещинную зону кристаллических пород.

На земельном массиве с общим уклоном к р. Уборть развит микрорельеф в форме замкнутых понижений. Почвообразующими породами являются водно-ледниковые мергелизованные отложения.

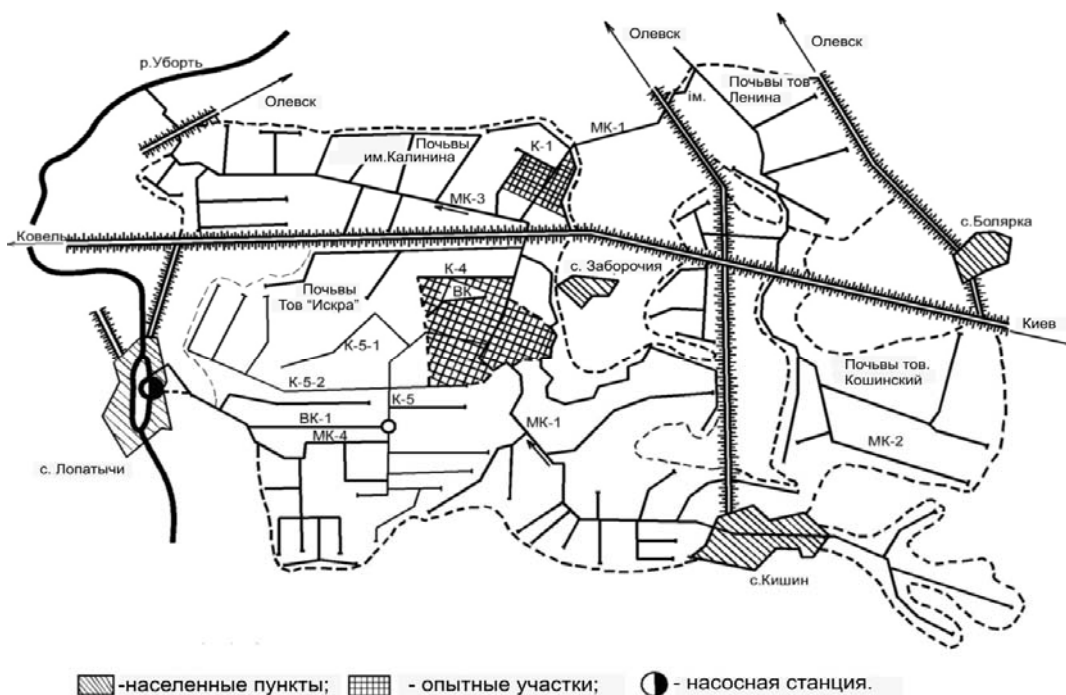


Рис. 14.1. Схема Кишинской осушительно-увлажнительной системы

Водно-ледниковые отложения – песчаные и супесчаные породы сизовато-желтого цвета, в нижней части с бледными ржаво-охристыми пятнами. Содержание физической глины колеблется от 7,9 до 8,1 %.

Мергелизованные отложения встречаются по понижениям и имеют сизовато-серый цвет. Физической глины в верхних слоях породы до 18 %, с глубиной ее количество уменьшается. Опытные участки общей площадью 50 га расположены в центральной части системы, вдоль магистрального канала МК-1.

Почвенный покров участков представлен дерново-подзолистыми и дерновыми глеевыми песчаными и супесчаными почвами. Дерново-подзолистые почвы залегают на возвышенных участках местности. Гумусовый горизонт этих почв темно-серый, супесчаный и песчаный, непрочной комковатой структуры, рыхлый, пористый, имеет мощность 0,18–0,20 м. Дерново-глеевые почвы имеют мощность гумусового горизонта до 0,25 м. Переходный горизонт сизо-серый со слабым буроватым оттенком, плотный, имеет мощность 0,20–0,30 м, в местах замкнутых понижений – оглеенный. Водно-физические свойства почв приведены в таблице 14.1.

Таблица 14.1

Водно-физические свойства почв опытных участков Кишинской ОУС

Тип почвы	Горизонт, м	Плотность, т/м ³	Объемная масса, т/м ³	Полная влагоемкость, %	Наименьшая влагоемкость, %	Коэффициент фильтрации, м/сутки
Дерново-подзолистые	0-0,3	2,59	1,33	36,6	22,7	1,3-5,3
	0,3-0,6	2,65	1,55	26,8	17,9	0,7-1,2
	0,6-0,9	2,58	1,62	32,0	13,3	0,5-4,7
	0,9-0,12	2,64	1,61	24,2	14,5	0,5-2,8
Дерновые глеевые	0-0,3	2,54	0,98	62,7	41,7	1,4-2,7
	0,3-0,6	2,65	1,59	25,1	15,1	0,1-0,9
	0,6-0,9	2,61	1,60	24,3	14,8	0,5-5,5
	0,9-0,12	2,67	1,59	25,8	15,5	0,5-2,8

Эти типы почв широко распространены в Полесье Украины [33]. В Житомирской области они занимают 88,7 %, в Ровенской области – 61,1 % и в Волынской – 61,6 % мелиоративного фонда.

Переувлажнение почв происходит в основном в результате близкого залегания УГВ и большого количества атмосферных осадков. Причем определяющую роль играют грунтовые воды, поскольку в почвах, имеющих высокую водопроницаемость, при УГВ 1,2–1,5 м переувлажнения не наблюдается даже в исключительно влажные периоды. В связи с этим при осушении легких минеральных почв

основное внимание уделяется своевременному снижению УГВ и организации поверхностного стока с замкнутых понижений.

Объектами исследований в рамках Кишинской ОУС являются участки дренажа с различными параметрами и конструкцией регулирующей сети (рис. 14.2, 14.3).

Каждый вариант опытных участков состоит, как минимум, из шести дрен (из расчета: три средних междренних учетные, два крайних – защитные). Каждый вариант имеет автономную подачу воды на увлажнение и сброса ее при осушении, что способствует точному учету подачи и сброса воды из данной системы. Подача и сброс воды в пределах каждого участка регулируются в колодцах с запорной арматурой типа «хлопушка». Исключение составляют только два участка дренажа, выполненные в виде одиночных дрен, имеющих двусторонний выпуск в открытые каналы (участок № 3 и № 4, рис. 14.2).



Рис. 14.2. Схема опытных участков, № 1–4



14.3. Схема опытных участков № 5–14

Грунтовые и гидрогеологические условия опытных участков являются типичными и характеризуют систему в целом. Поэтому показатели гидромелиоративного действия дренажа на опытных участках, полученные в ходе исследований, будут характерны для всей системы. Из типичности объекта

следует, что результаты исследований могут быть распространены на почвах легкого гранулометрического состава в Западном Полесье Украины.

В целом, погодные условия в 1977–1982 гг. были достаточно разнообразными и характерными для исследуемого района, что способствовало выполнению задач исследований в полном объеме. Краткая характеристика погодных условий за период исследований рассматривалась за каждый год отдельно в хронологическом порядке. При этом использованы данные стационарных наблюдений на метеостанции Олевск и метеопоста Сарненской НИС.

14.2.3. Методика исследований. В ходе планирования была составлена схема проведения исследований, согласно которой запроектированы и построены опытные участки дренажа. В качестве факторов, влияющих на регулирующее действие дренажа, изучались расстояния между дренами E , диаметр дрен d , конструкция дренажного фильтра, расстояние между открытыми каналами L и глубина последних.

Для изучения влияния расстояний между дренами заложены варианты с $E = 18, 24, 30$ м при $d = 50$ мм и защиты двумя сплошными лентами стекловолокна (участки № 10, 12 и 13).

Для выявления влияния диаметра дрен заложены участки с $d = 50, 75$ и 100 мм при $E = 30$ м и защите двумя сплошными лентами стекловолокна (участок № 12, 5, 1).

Для изучения влияния ЗФМ заложены участки № 7, 8, 9, 11 и 14 с различной конструкцией дренажного фильтра:

1) *сплошной фильтр*:

- а) из двух лент стекловолокна – покровного и подстилочного;
- б) только покровного;

2) *прерывистый фильтр*:

- а) из пакли, положенной сверху на стыках труб при незащищенной нижней части;
- б) полиэтиленовые втулки конструкции «Львовдипроводгосп»;

3) *комбинированный фильтр* – из пакли, положенной сверху на стыки дренажных труб, и сплошной подстилочной ленты стекловолокна.

На этих участках заложен керамический дренаж ($d = 50$ мм, $E = 16$ м).

Влияние проводящей сети изучали на Кишинской системе до реконструкции в 1977–1978 гг. на участках, осушаемых открытыми каналами глубиной 1–2,5 м при расстоянии между ними 200–300 м, а также в течение последующих лет на участках дренажа, равноудаленных от открытых каналов. В число этих участков входили часть уже перечисленных опытных участков, а также производственные участки с междренными расстояниями 18–20 м. Наблюдательные скважины при этом были установлены на расстоянии 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 м от открытого канала.

За основной показатель эффективности действия того или иного вида дренажа принималась интенсивность снижения УГВ при осушении и интенсивность подъема УГВ при работе системы в режиме подпочвенного увлажнения.

Для изучения влияния конструкций и параметров дренажа на интенсивность осушения наблюдения проводились как в условиях естественной увлажненности участков, так и искусственно созданных экстремальных условиях увлажненности. Для этого при проведении подпочвенного увлажнения (после окончания вегетационного периода) УГВ поднимались к поверхности земли.

Для изучения динамики УГВ на каждом из участков было установлено 14 (при длине дрен 70 м) или 23 (при длине дрен 150 м и более) наблюдательных скважины. Всего на опытных участках наблюдения велись по 255 скважинам, установленным на разном расстоянии от дрен и проводящих элементов сети. Дополнительно на каждом из опытных участков было установлено от 8 до 12 пьезометров для измерения напора в дренах в период работы системы в режимах осушения и подпочвенного увлажнения. Общее количество пьезометров превысило 150.

С целью корректировки методики УкрНИИГиМ (ныне ИВПиМ) по расчету режима увлажнения для условий песчаных почв [12, 43] изучался водообмен грунтовых вод с зоной аэрации в 15 лизиметрах.

Строительство систем проходило под нашим непосредственным наблюдением и выполнено качественно и в соответствии с проектом. Все сооружения на системе (дрены, коллекторы, колодцы, устья, скважины и т. д.) с высокой точностью привязаны в плановом и высотном положении. На опытных участках Кишинской ОУС в течение периодов вегетации 1980, 1981 и 1982 проводилось от двух до четырех циклов подпочвенного увлажнения с подачей воды как против уклона дрен, так и за уклоном. Кроме того, в 1980 и 1981 гг. после сбора урожая сельскохозяйственных культур на системе были проведены увлажнения, при которых УГВ были подняты к поверхности земли, а затем осуше-

ствлен их сброс. При этом проведена детальная исследовательская работа различных вариантов дренажа в режиме увлажнения и осушения.

Подпочвенное увлажнение при подаче воды в устья дрен (против уклона) осуществлялось следующим образом. На магистральных каналах МК-1 и МК-3 перекрывались подпорные сооружения РТК-100-0-210 (ПК 104 + 45) и РТК-2-200-200 (ПК 46 + 50). Подпор от них распространялся по МК-1, МК-3, К-1, К-4 и К-5, из которых вода попадала в устья коллекторов и дрен (рис. 14.2, 14.3).

При подаче воды в истоки дрен перекрывалась сооружение РТК-150-0-260 на ПК 0 + 20 канала К-5. В канал К-5 вода подавалась насосной станцией с р. Уборть. С канала К-5 насосной станцией СНП 75/100 вода подавалась в увлажняющий канал ЗК, из которого потом поступала в увлажняющие коллекторы и дрены. При увлажнении клапаны на увлажняющих коллекторах были открыты, на сбросных – закрыты. По окончании увлажнения проводилась промывка дренажа холостым пропуском воды из ЗК по дренам.

В соответствии с задачами исследований был выполнен комплекс полевых и лабораторных работ по общепринятым методикам. Результаты исследований обработаны общепринятыми статистическими методами с использованием вычислительной техники.

14.3. Влияние параметров осушительной сети и конструкции ее элементов на интенсивность осушения

14.3.1. Водный режим почв на объекте исследований. Наблюдениями за изменением УГВ были охвачены периоды вегетации различной обеспеченности осадками. Два из них были засушливые (1978, 1979), три – влажными (1977, 1980, 1981) и один – средним (1982).

На объекте исследований распространены два основных типа почв: дерново-подзолистые и дерновые глеевые. Эти почвы близки по водно-физическим свойствам (табл. 14.1) и приурочены к формам рельефа местности. Дерново-подзолистые почвы сформировались на повышенных участках, а дерновые – на более пониженных. Различия в высотном положении участков обуславливают различия в водном питании. На повышенных участках преобладает атмосферный тип, а на пониженных – атмосферно-почвенный.

Проведенные исследования подтверждают выводы о том, что основной причиной периодического переувлажнения легких минеральных почв Полесья является не избыток осадков, а слабая естественная дренажность территории, в результате чего УГВ находятся близко к поверхности земли. Количество и распределение атмосферных осадков играет важную роль в формировании влажности верхних горизонтов почвы. Но при глубине грунтовых вод 1,0–1,2 м переувлажнения верхнего полуметрового слоя не наблюдается даже в периоды вегетации 3%-ной обеспеченности осадками (рис. 14.5).

Так, на участке дерново-подзолистых почв, осушаемых открытыми каналами глубиной 1,5–2,0 м при $L = 200–300$ м, в течение вегетации 1977 г. влажность почвы не превышала 60 % ПВ. Лишь во второй декаде августа произошло кратковременное переувлажнение, когда количество осадков превысило месячную норму, а УГВ поднялся до глубины 0,2 м от дневной поверхности. Аналогичные результаты получены на дерново-подзолистых почвах в 1980 и 1981 гг. (рис. 14.6).

Исследуемые почвы вместе с высокой водопроницаемостью имеют низкую влагоемкость и при снижении УГВ ниже 1,0–1,2 м от поверхности влажность верхних горизонтов почвы достигает 20–30 % ПВ не только в средние и засушливые годы, но и в отдельные периоды влажных лет (рис. 14.5, 14.6).

На участках с атмосферно-почвенным питанием случаи кратковременного или длительного переувлажнения 0–50 см слоя почвы наблюдались значительно чаще. При осушении открытыми каналами даже в засушливые периоды вегетации минимальная норма осушения достигается только в первой декаде июня, а во влажные периоды не достигается вовсе (рис. 14.5а). В связи с этим для обеспечения оптимального водного режима минеральных почв легкого гранулометрического состава при близком залегании грунтовых вод необходимо строительство закрытого дренажа.

Во влажные периоды 1980 и 1981 гг. на участках дерновых глеевых почв, осушаемых закрытым дренажем с междренним расстоянием 20 м, несмотря на кратковременные подъемы УГВ, в целом наблюдался удовлетворительный водный режим. При исследовании динамики УГВ и влажности дерновых почв существенных различий в формировании водного режима на вариантах междренных расстояний не обнаружено как и во влажные, так и в засушливые периоды вегетации (рис. 14.7, 14.8). В связи с этим степень влияния параметров и конструкций дренажа на его регулирующее воздействие оценивалась по скорости снижения УГВ и срокам освобождения 0,5 м слоя почвы от гравитационной влаги в весенний период.

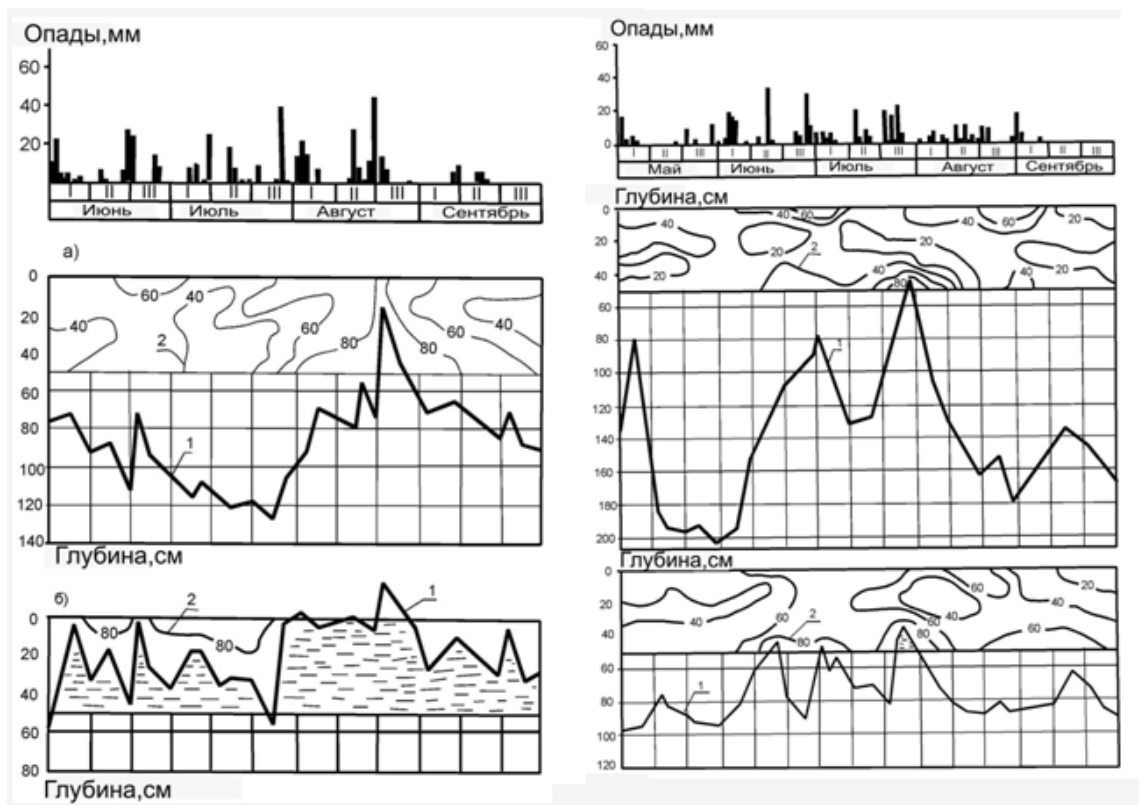


Рис. 14.5. Динамика УГВ и влажности почвы (% ПВ) во влажный период вегетации в 1977 г. на участке, который осушался открытыми каналами: а) дерново-подзолистые почвы; б) дерновые почвы; 1 – УГВ; 2 – график влажности почвы

Рис. 14.6. Динамика УГВ и влажности почвы (% ПВ) в период вегетации 1980 г. на участке дренажа $E = 20$ м, который осушался дренажем: а) дерново-подзолистые почвы; б) дерновые почвы; 1 – УГВ; 2 – график влажности почвы

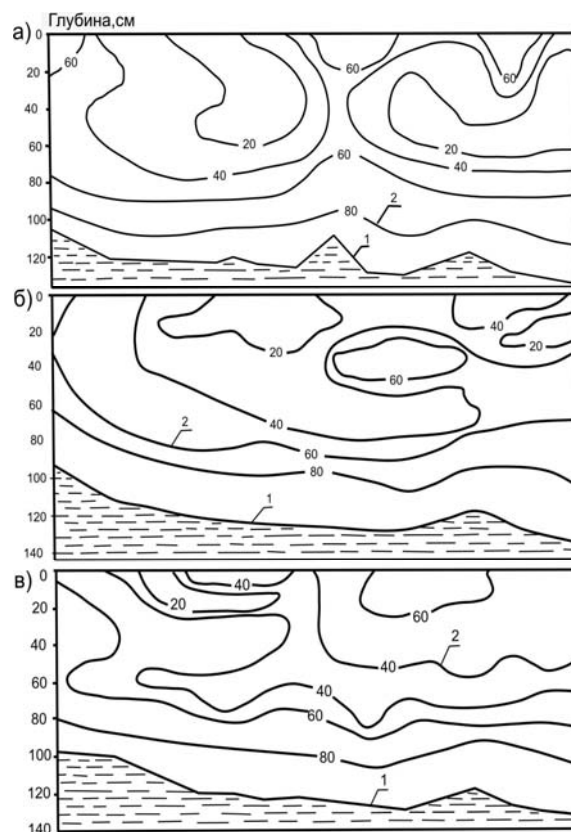


Рис. 14.7. Динамика УГВ и влажности почвы (% ПВ) в засушливые периоды вегетации 1979 г. на участке дренажа при: $E = 18$ м, $E = 24$ м, $E = 30$ м, 1 – УГВ; 2 – график влажности почвы

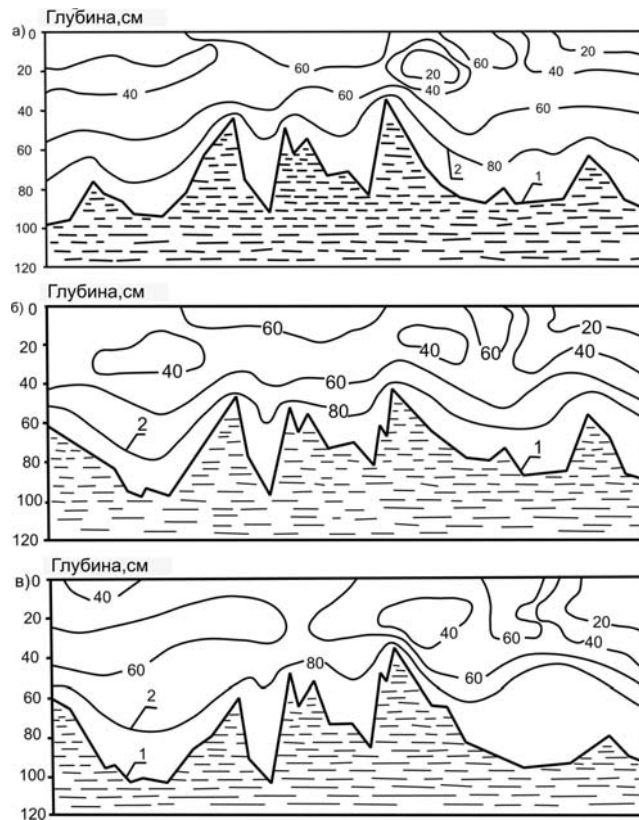


Рис. 14.8. Динамика УГВ и влажности почвы (% ПВ) в период вегетации 1979 г. на участке дренажа при: $E = 18$ м, $E = 24$ м, $E = 30$ м, 1 – УГВ; 2 – график влажности почвы

Исследование влияния междренних расстояний, диаметра дрен, конструкции фильтра и элементов проводящей сети открытых каналов на интенсивность осушения проводилось на дерновых глеевых почвах, допуская при этом, что полученные результаты будут сознательно удовлетворять предъявляемые требования и для дерново-подзолистых почв. Наблюдения за динамикой УГВ в ранневесенний период показали, что с удалением от дрены интенсивность осушения уменьшается (рис. 14.9).

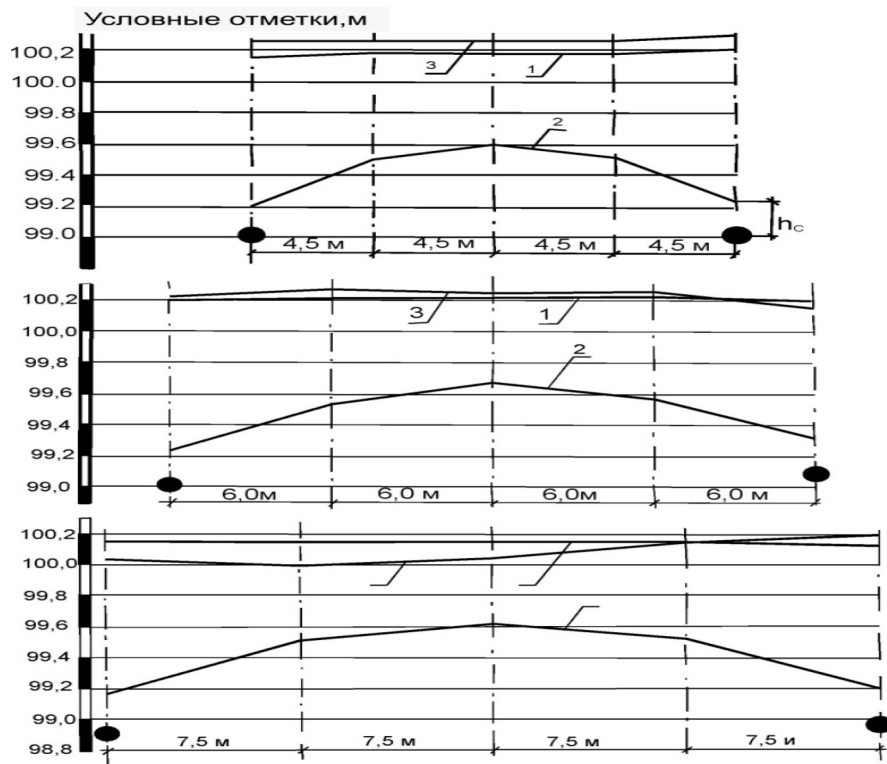


Рис. 14.9. Положение депрессионной кривой на начало периода осушения 1 – через 7 дней; 2 – на участке с $E = 18, 24$ м, $E = 30$ м; 3 – поверхность земли

В течение семи суток общее снижение составило 70 см на расстоянии 4,5 м от дрены и 54 см на расстоянии 15 м. Также было установлено, что в процессе осушения всегда существует нависание УГВ над дренаем, вызванное несовершенством дрена по водопримной поверхности. Причем высота нависания, кроме диаметра дрена и конструкции фильтра, зависит от напора УГВ в междреннии.

Неравномерность в интенсивности осушения создает проводящая сеть открытых каналов (рис. 14.10).

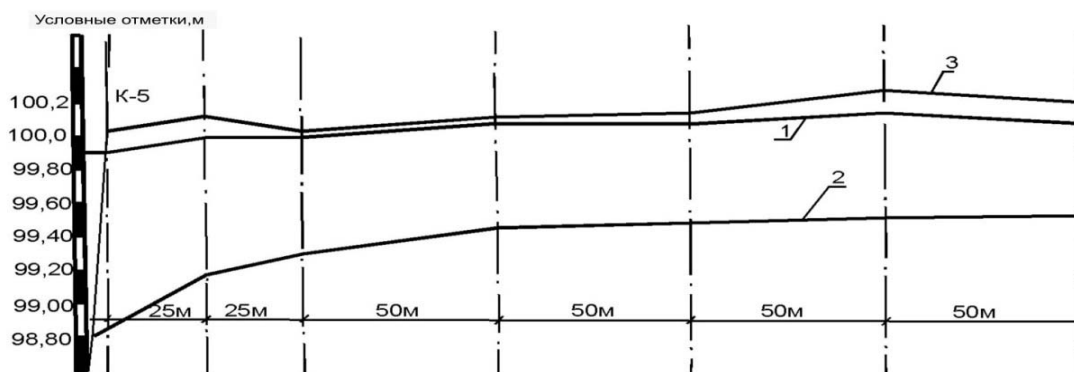


Рис. 14.10. Положение УГВ на начало периода осушения: 1 – через 7 суток; 2 – на участке дренажа с $E = 20$ м с учетом отступления от канала; 3 – поверхность почвы

Влияние канала в определенной степени нивелируется густой сетью дренажа, но тем не менее остается существенным. Таким образом, интенсивность снижения УГВ зависит от параметров и конструкции осушительной сети и ее элементов.

14.3.2. Влияние междренных расстояний на интенсивность снижения УГВ. Наблюдение за УГВ показали, что интенсивность осушения растет с уменьшением междренных расстояний (табл. 14.2).

Таблица 14.2.

Средняя скорость снижения УГВ при осушении 0-50 см слоя почвы, см/сутки

Повторяемости	Скорость снижения		
	$E = 18$ м	$E = 24$ м	$E = 30$ м
1	8,5	7,7	6,5
2	9,0	8,0	7,2
3	9,0	7,8	7,3
среднее	8,8	7,8	7,0

Проведенный дисперсный анализ свидетельствует о существовании этого влияния на 5%-ном уровне значимости ($F_{\phi} = 25,8$; $F_{os} = 5,14$).

Средняя скорость снижения УГВ меняется не только в зависимости от ширины междрения, но и с удалением от дрены (рис. 14.11).



Рис. 14.11. Положение УГВ на начало периода осушения: 1 – через 7 суток; 2 – на участке дренажа с $E = 20$ м, с учетом отступления от канала; 3 – поверхность земли

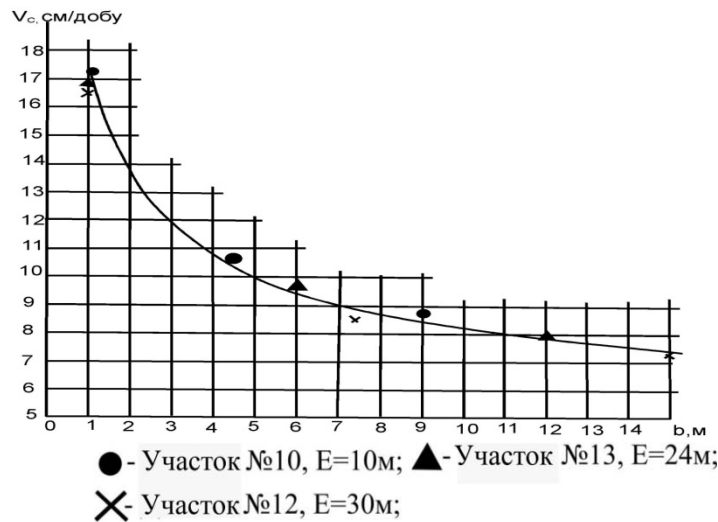


Рис. 14.12. Зависимость средней скорости снижения УГВ от расстояния до дрены

Согласно данным математической обработки материалов наблюдений по участкам № 10, 12, 13 (рис. 14.12) значение скорости снижения УГВ (V_c) удовлетворяет уравнению

$$V_c = \frac{13,00}{\sqrt{b}}, \quad (14.1)$$

где b – удаление от дрены, м; n – количество дней с осадками в декаде;

R – коэф. множественной корреляции.

Когда $n = 230$; $b = 1-15$ м; $R = 0,97 \pm 0,01$.

Наличие свободного члена в уравнении (14.1) свидетельствует о влиянии открытого канала, расположенного в данном случае на расстоянии 120–150 м от скважины.

Подставив в (14.1) $b = \frac{E}{2}$, получаем значение V_c для средней части междренной линии:

$$V_c = \frac{18,85}{\sqrt{E}} + 4,11, \quad (14.2)$$

где E – расстояние между дренами, м.

Таким образом, скорость снижения УГВ существенно зависит от междренних расстояний и изменяется обратно пропорционально корню квадратному из его значения.

14.3.3. Влияние диаметра дрен и конструкции фильтра на интенсивность снижения УГВ и эксплуатационную надежность дренажа. Конструкция дрен влияет на водозахватывающую способность, а следовательно, и на интенсивность снижения УГВ. В таблицах 14.3 и 14.4 приведены значения средней интенсивности снижения УГВ при осушении слоя 0–50 см на расстоянии 100–150 м от открытого канала. Они свидетельствуют о том, что диаметр дрен и конструкция фильтра существенно влияют на интенсивность осушения: в зависимости от диаметра и типа фильтра значение V_c меняются от 7,0 до 9,4 см/сутки. Полученные данные подтверждаются и результатами дисперсионного анализа (по диаметрам $F_\phi = 26,0$; $F_{os} = 5,14$; по фильтрам $F_\phi = 9,56$, $F_{os} = 3,48$).

Зависимость скорости снижения УГВ от конструкции фильтра и диаметра дрен определяется отличием фильтрационных сопротивлений на входе воды в дренах. Указанные опоры характеризуются высотой нависание грунтовых вод над дренами.

Еще С. Ф. Аверьянов [1] отметил, что нависание грунтовых вод может иметь место в результате трех причин: подпор в дрене со стороны проводящей сети; недостаточного размера дрены для отвода воды, поступившей к ней; дополнительных сопротивлений на входе в дренах.

Таблица 14.3

Средняя скорость снижения УГВ при осушении 0–50 см слоя почвы дренами различных диаметров, см/сутки

Повторяемости	Скорость снижения		
	$d = 50$ мм	$d = 75$ мм	$d = 100$ мм
1	6,5	8,7	10,0
2	7,2	8,6	9,0
3	7,3	9,1	9,2
среднее	7,0	8,8	9,4

Средняя скорость снижения УГВ при осушении 0–50 см слоя почвы дренами $d = 50$ мм с разной конструкцией фильтра, см/сутки

Повторяемости	Скорость снижения				
	Сплошной фильтр		Прерывистый фильтр		Комбинированный фильтр
	из двух лент стекловолокна: покрывочных и подстилочных	только покрывочных	из пакли, вымощенной сверху на стыках труб	полиэтиленовые втулки	
1	8,6	8,2	7,7	7,4	8,7
2	9,2	7,3	6,8	8,3	8,5
3	9,0	8,0	7,1	7,5	8,8
среднее	8,9	7,8	7,2	7,7	8,7

При проектировании осушительных систем исходят из того, чтобы устья дренажных систем находились в подпоре не более 5–7 суток [24]. На самом деле, как показали наши исследования на объектах Житомирской и Ровенской областей, при отсутствии пробок на открытой сети до конца четвертых суток после прохождения паводка устья освобождаются от подпора. Таким образом, нависание над дренами, вызванное подпором со стороны проводящей сети, наблюдается довольно непродолжительное время. Гидравлический расчет дрен выполняют из условия, что они работают полным сечением, а избыточное давление в них отсутствует. При этом исчисленный внутренний диаметр округляется в большую сторону до ближайшего стандартного значения. Итак, дренажные трубы в обычных условиях работают лишь частью сечения. Это подтверждается нашими исследованиями: дрена перестают работать полным сечением при освобождении устья от подпора на 40–50 %, но нависание над дренами сохраняется (рис. 14.3).

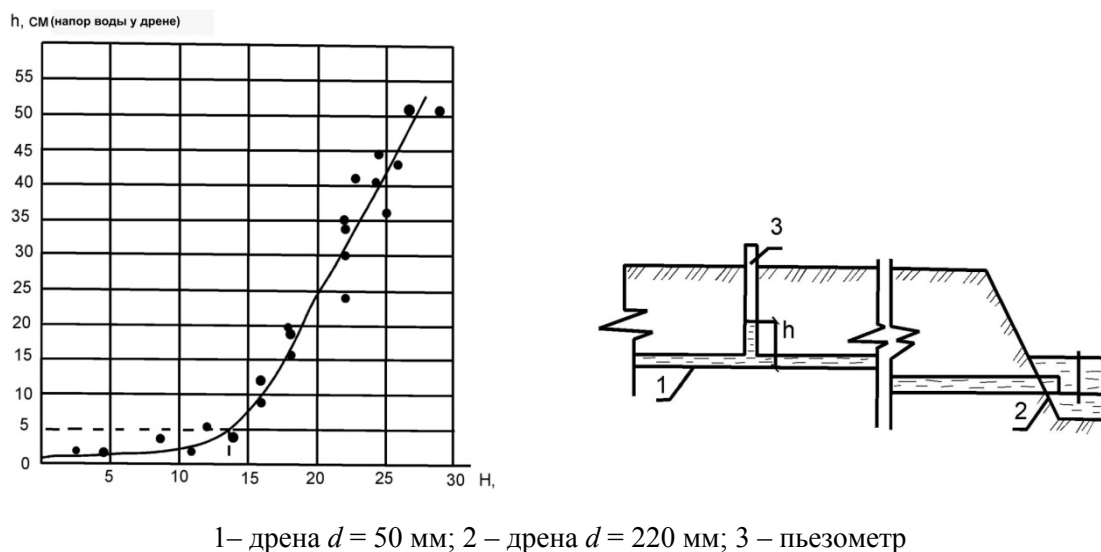


Рис. 14.13. Зависимость напора в дрене от положения уровня воды в канале

Указанное нависание характеризует величину потерь напора на входе в дрена и возникает в результате несоответствия способности почв отдавать воду и водопримной способности дрены. Величина потерь пропорциональна притоку воды в дрена и зависит от площади перфорации, расположения отверстий и конструкции дренажного фильтра. Поскольку приток воды к дрене зависит от действующего напора, то и потери тоже зависят от последнего.

Проведенные исследования показали, что нависание достигает значительных величин (табл. 14.5).

В результате исследований получены эмпирические кривые, описываемые выражением

$$\Phi_i = a + \beta \cdot h^{-1.5}, \quad (14.3)$$

где a и β – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в таблицах 14.6 и 14.7;

$h = \frac{h}{h_q}$ – приведенный напор УГВ в междреннии, где h – превышение УГВ в междреннии над

дном дрены, м; h_q – напор в дрене при подпочвенном увлажнении, м.

Таблица 14.5

Высота нависания h_c УГВ над дренаем в зависимости от ее диаметра и напора h в междреннии

Диаметр дрен d , мм	$h = 1,0-1,2$ м		$h = 0,8-1,0$ м		$h = 0,6-0,8$ м		$h = 0,4-0,6$ м		$h = 0,2-0,4$ м	
	h_c		h_c		h_c		h_c		h_c	
	см	%	см	%	см	%	см	%	см	%
50	30	27	26	29	22	31	16	32	11	37
75	25	23	22	24	18	26	13	26	9	30
100	21	19	18	20	15	21	12	24	8	27

Таблица 14.6

Эмпирические коэффициенты a при различных диаметрах дрен

$d = 50$ мм	$d = 75$ мм	$d = 100$ мм
33,8	20,3	15,2

При одинаковых междренних расстояниях скорость снижения УГВ зависит от потерь напора при фильтрации через почву в междреннии ($h - h_c$).

Эта зависимость описывается линейным уравнением

$$V_c = 3,58 + 6,63 \cdot (h - h_c), \quad (14.4)$$

где h_c – высота нависания УГВ над дренаем, м.

Таблица 14.7

Эмпирические коэффициенты β при разной конструкции фильтра

Сплошной		Прерывистый		Комбинированный
Две ленты стекловолна: кровельная и подстилающая	Только кровельная	Ленты пакли	Полиэтиленовые втулки	С пакли и подстилающей ленты стекловолна
3,47	14,40	26,10	14,66	6,69

Таким образом, при одинаковых напорах h в междреннии интенсивность осушения возрастает при снижении высоты нависания h_c . Это достигается путем увеличения диаметра дрен и подбора соответствующего фильтра.

14.3.4. Влияние проводящей сети открытых каналов на интенсивность осушения. На интенсивность осушения существенное влияние оказывает ведущая сеть открытых каналов. Влияние это растет с приближением к каналам с увеличением их глубины.

Наблюдение за динамикой УГВ в скважинах, расположенных на удалении от канала $B = 25, 50, 100, 150, 200$ и 250 м, установлено наличие существенной зависимости средней скорости снижения УГВ в слое почвы $0-50$ см от расстояния до канала (табл. 14.8).

Таблица 14.8

Средняя скорость снижения УГВ при осушении слоя почвы
 $0-50$ см на разном расстоянии от канала, см/сутки

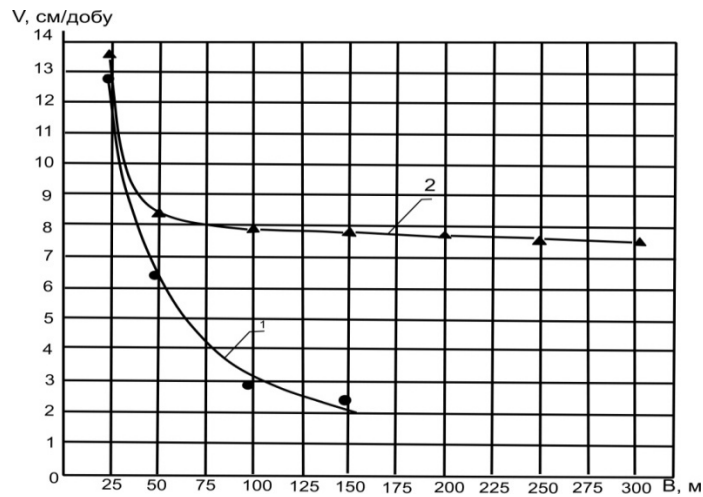
Повторяемости	Скорость снижения					
	$B = 25$ м	$B = 50$ м	$B = 100$ м	$B = 150$ м	$B = 200$ м	$B = 250$ м
1	11,3	9,6	8,4	8,6	8,0	8,5
2	9,9	9,3	8,8	8,2	8,5	7,9
3	10,1	10,0	8,5	8,4	8,4	8,3
среднее	10,4	9,6	8,6	8,4	8,3	8,2

При осушении только открытыми каналами (рис. 14.14) наблюдается снижение V_c с удалением от канала, которое меняется в соответствии с уравнением

$$V_c = \frac{319,31}{B}, \text{ см / сут.} \quad (14.5)$$

При наличии керамического дренажа и открытых каналов интенсивность осушения изменяется в соответствии с кривой 2 (рис. 14.14).

В приканальной полосе шириной 50 м основная роль в осушении верхнего слоя почвы принадлежит каналу. При удалении от этой полосы влияние канала ослабевает, но растет доля влияния дренажа.



1 – осушение открытыми каналами глубиной 1,5–2,0 м; 2 – осушение открытыми каналами глубиной 1,5–2,0 м и керамическим дренажем ($E = 20$ м, $h_g = 1,1–1,3$ м)

Рис. 14.14. Средняя скорость УГВ с удалением от канала при осушении 0,5 м слоя почвы в весенний период

В этом случае в интервале $B = 50–300$ м значения изменяются по уравнению

$$V_c = a_0 + \frac{a_1}{B^{0,087}}, \quad (14.6)$$

где a_0 – коэффициент, учитывающий осушительное действие дренажа ($a_0 = 3,89$); a_1 – коэффициент, учитывающий напор УГВ над уровнем воды в канале ($a_1 = 6,18$), B – удаление от канала, м.

14.4. Усовершенствование методики определения междренних расстояний с учетом конструкции осушаемой сети и ее элементов

14.4.1. Оценка существующих методов расчета дренажа. Расчет междренних расстояний проведен по формулам С. Ф. Аверьянова, А. Н. Костякова, А. И. Ивицкого, А. И. Мурашко (с учетом разработок А. Я. Олейника), а также с учетом разработок ЛитНДИГиМ, ВНИИводполимер при следующих исходных данных: почва однородная $K_\phi = 2,69$ м/сутки; водоупор на глубине 11 м; $\delta = 0,08$; глубина заложения дрен $h_d = 1,2$ м; диаметр дрен 0,05 м; дрены без фильтра; зазор между трубками 0,002 м; нужно снизить УГВ за $T = 7$ суток от поверхности земли до глубины 0,5 м.

Схема для расчета приведена на рисунке 14.15.



1 – исходное положение депрессионной кривой; 2 – необходимое положение депрессионной кривой в конце расчетного периода $T = 7$ суток; 3 – водоупор

Рис. 14.15. Схема расчета расстояния между дренами

Расчеты показали, что значение междренних расстояний, определенных по комплексным методам УкрНИИГиМ, на 20–50 % меньше определенных по теоретическим формулам и на 40–60 % больше, чем определенные по методикам ВНИИводполимер и ЛитНИИГиМ, в основу которых положены данные о гранулометрическом составе почв.

На основании данных наблюдений на исследуемой системе получено уравнение, описывающее изменение скорости снижения УГВ с удалением от дрены при осушении верхнего 0,5 м слоя почвы

$$V_c = \frac{a_1}{\sqrt{b}} + a_2, \quad (14.7)$$

(при значениях $V_c = 29 - 11$ см/сутки, $b = 1-9$ м; $R = 0,98 \pm 0,01$),

где a_1 – эмпирический коэффициент, учитывающий напор над дренами, и равен 24,51; a_2 – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние проводящих каналов, R – коэффициент множественной корреляции.

Для средней части участка между каналами $a_2 = 4,21$.

Из уравнения (14.7)

$$E = \left(2 \frac{a_1}{V_c - a_2}\right)^2. \quad (14.8)$$

Подставив в (13.8) значения коэффициентов a_1 и a_2 получаем

$$E = \left(2 \frac{24,51}{V_c - 4,21}\right)^2. \quad (14.9)$$

Исключая из (14.9) влияние проводящих каналов и подставляя нужную интенсивность снижения УГВ ($V_{номр} = 50/7 = 7,1$ см/сутки), получаем

$$E = \left(2 \frac{24,51}{7,1}\right)^2 = 24 \text{ м} \quad (14.10)$$

Ошибка при расчете по формуле (14.7) за счет экстраполяции в области значений V_c , отсутствующих при ее выведении, составляет $\pm 0,2$ см/сутки, то есть не находится в пределах точности измерения глубины УГВ мерной лентой.

В соответствии с техническими указаниями по применению комплексного метода, выработанными УкрНИИГиМ и утвержденными Минводхозом УССР, расстояние между дренами для дерновых среднеподзолистых глеевых песчаных почв на водно-ледниковых отложениях, определенное с учетом уклона местности, условий водного питания, но без учета конструкции дрены и элементов проводящей сети, равно $E = 23-26$ м, то есть практически совпадает с определенным по (14.9). В связи с этим, принимая за основу комплексный эмпирический метод УкрНИИГиМ, вводим поправочные коэффициенты, учитывающие диаметр дрены K_d , конструкцию фильтра K_f и влияние проводной сети открытых каналов.

Тогда, с учетом наших поправок, расчетная формула для расстояний между дренами имеет вид

$$E_p = E_0 \cdot K^n, \quad (14.11)$$

где E_0 – базовое расстояние между гончарными дренами для контрольного варианта (диаметр дрен $d = 50$ мм, прерывистый фильтр, без учета каналов проводящей сети); K^n – суммарный поправочный коэффициент, равный произведению частных коэффициентов

$$K^n = K_d \cdot K_f \cdot K_l. \quad (14.12)$$

14.4.2. Определение поправочных коэффициентов, учитывающих влияние диаметра дрены, конструкции фильтра и элементов проводящей сети каналов. Установив степень влияния параметров и конструкций осушительной сети на скорость снижения УГВ, с помощью несложных преобразований исходных данных и их последующей математической обработки находим выражение для V_c в безразмерных величинах

$$\bar{V}_c = \left(0.145 \cdot \frac{\bar{h} - \bar{h}_c}{\sqrt{b}} + 0.306 \cdot \frac{\bar{H}}{\bar{b}^{0.087}}\right) \cdot 10^{-2}, \quad (14.13)$$

где b – расстояние от дрены, м.

$$\text{где: } \bar{V}_c = V_c \frac{\delta}{K_\phi}; \quad \bar{h} = \frac{h}{h_\delta}; \quad \bar{h}_c = \frac{h_c}{h_\delta}; \quad \bar{b} = \frac{b}{E_0}; \quad \bar{H} = \frac{H}{H_\kappa}; \quad \bar{B} = \frac{B}{H_\kappa}, \quad (14.14)$$

где h_δ – глубина заложения дрен, м; H – превышение ГРВ над уровнем воды в канале, ; H_κ – глубина открытого канала, м.

По нашим данным, высота нависания над дренажем зависит от диаметра дренажа, конструкции фильтра, напора в междурении и определяется выражением

$$h_c = 0,068 \cdot \Phi_i^{0,38} \cdot h \quad , \quad (14.15)$$

где Φ_i – фильтрационное сопротивление.

Подставив (14.13) в (14.14), получим

$$V_c = \left[0.145 \frac{\bar{h}(1 - 0.068 \cdot \Phi_i^{0,38})}{\sqrt{\bar{b}}} + 0.306 \frac{\bar{H}}{\bar{B}^{0,087}} \right] \cdot 10^{-2} \quad . \quad (14.16)$$

Решая уравнение (14.15) относительно \bar{b} , получим

$$\bar{b} = \left[\frac{0.145 \cdot \bar{h}(1 - 0.068 \cdot \Phi_i^{0,38})}{100 \cdot \bar{V} - 0.306 \cdot \frac{\bar{H}}{\bar{B}^{0,087}}} \right]^2 \quad . \quad (14.17)$$

Поскольку $\bar{b} = \frac{b}{E_0} = \frac{E}{2E_0}$, то выражение для E будет выглядеть

$$E = 2E_0 \left[\frac{0.145 \cdot \bar{h}(1 - 0.068 \cdot \Phi_i^{0,38})}{100 \cdot \bar{V} - 0.306 \cdot \frac{\bar{H}}{\bar{B}^{0,087}}} \right]^2 \quad , \quad (14.18)$$

или с учетом (14.11)

$$K' = \left[\frac{0.205 \cdot \bar{h}(1 - 0.068 \cdot \Phi_i^{0,38})}{100 \cdot \bar{V} - 0.306 \cdot \frac{\bar{H}}{\bar{B}^{0,087}}} \right]^2 \quad . \quad (14.19)$$

Согласно начальным условиям дренаж должен обеспечить в течение семи суток снижение УГВ от поверхности земли до глубины 0,5 м, то есть интенсивность снижения $V_c = 0,071$ м/сутки или $\bar{V}_c = 0,00223$.

При глубине дрен $h_d = 1,2$ м средний напор равен: $h = \frac{h_d + (h_d - 0,5)}{2}$; $h = 0,95$ м ;
 $\bar{h} = \frac{0,95}{1,2} = 0,795$.

Подставив значения V_c и \bar{h} в (14.19) и выполнив некоторые преобразования, получим

$$K' = \left[\frac{0.725 \cdot (1 - 0.068 \cdot \Phi_i^{0,38})}{1 - 1.37 \cdot \frac{\bar{H}}{\bar{B}^{0,087}}} \right]^2 \quad . \quad (14.20)$$

Проведенные исследования показывают, что при средней глубине канала $H_k = 2,0$ м в центре междуканальной полосы шириной $L = 700$ м влияние канала незначительное. При снижении УГВ в слое 0–0,5 м весной средний напор над уровнем воды в канале можно принимать $H = 0,6 H_k$.

Исключив таким образом из (14.20) влияние проводящей сети, получаем уравнение для поправочного коэффициента, учитывающего влияние конструкции фильтра и диаметра дрен

$$K_K = K_d \cdot K_f = 2.325(1 - 0.068 \Phi_i^{0,38})^2 \quad . \quad (14.21)$$

Коэффициент K_K является интегральным, то есть учитывает одновременно влияние фильтра и диаметра. Найдем коэффициенты, учитывающие это влияние отдельно.

Входные сопротивления определяются по выражению (14.3).

При диаметре дрен $d = 50$ мм; $\alpha = 33,8$; $\bar{h} = 0,79$

$$\Phi_i = 33,8 + 1,42 \cdot \beta = 33,8(1 + 0,04 \cdot \beta) \quad (14.22)$$

Тогда, коэффициент, учитывающий влияние фильтра K_f будет равняться

$$K_K = K_d \cdot K_f = 2.325(1 - 0.068\Phi_i^{0.38})^2 \quad (14.23)$$

Для коэффициента K_d , учитывающего влияние диаметра дрена, имеем следующую зависимость

$$K_d = 1.85 \left[1 - 0.12(1 + 0.2\alpha)^{0.38} \right]^2 \quad (14.24)$$

Потом, определив Φ_i для контрольного варианта ($d = 50$ мм, защита стыков только полосками пакли) при напоре $h = 0,95$ м, с (14.18) получаем

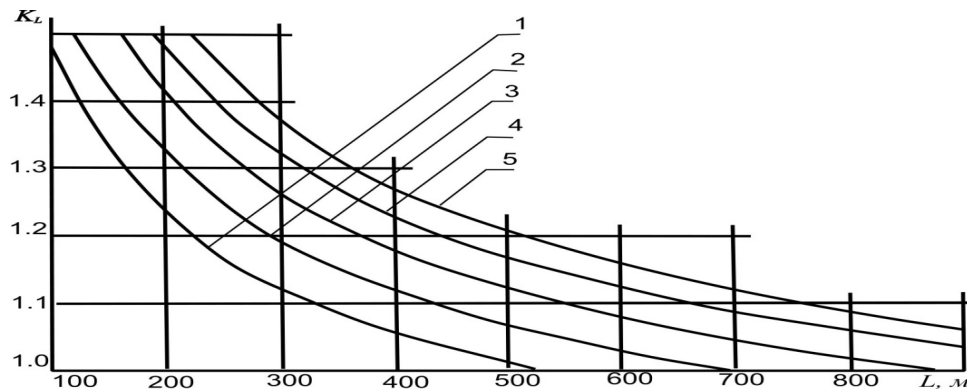
$$K_L = \frac{0.227}{\left(1 - 1.37 \frac{\bar{H}}{B^{0.087}} \right)^2}, \quad (14.25)$$

где K_L – поправочный коэффициент, учитывающий влияние элементов проводящей сети на междреннее расстояние.

Подставляя вместо B половину расстояния между каналами, а вместо значения $H = 0,6H_k$, получаем коэффициенты K_L для середины межканальных полос

$$K_L = \frac{0,227}{\left[1 - 0,87 \left(\frac{H_k}{L} \right)^{0.087} \right]^2} \quad (14.26)$$

Для упрощения расчетов уравнения (14.26) представлено в графическом виде (рис. 14.16).



1 – $H_k = 1,5$ м; 2 – $H_k = 2,0$ м; 3 – $H_k = 2,5$ м; 4 $H_k = 3,0$ м; 5 – $H_k = 3,5$ м

Рис. 14.16. График для определения коэффициента K_L при расположении дрена перпендикулярно каналам

Полученные нами поправочные коэффициенты K_L , K_f и K_d рекомендуется учитывать при определении междренных расстояний на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава Западного Полесья Украины. Они хорошо согласуются с аналогичными коэффициентами, полученными по формулам А. И. Мурашко и А. И. Ивицкого. Однако коэффициенты K_d , учитывающие влияние диаметра дрена на расстояние между ними, определенные по формуле А. И. Мурашко, на 10–11 % ниже их экспериментальных значений. Это подтверждает вывод Ц. Н. Шкинниса [70] о недостаточном учете влияния диаметра дрена теоретическими формулами для расчета междренных расстояний. Очевидно, что формирование устойчивого профиля тесно связано со знанием физико-механических свойств почв не только в их природном состоянии, но и в рабочем, то есть во время эксплуатации канала.

В неустойчивых грунтах и особенно в тех случаях, когда подошва откоса располагается в водонасыщенной зоне, возникает потребность искусственного закрепления подошвы откоса и его неустойчивой части.

В осушительной практике устойчивые разновидности почв встречаются сравнительно редко. К таким почвам относятся плохо- и среднеразложившиеся торфяные почвы, преимущественно гипново-сфагновые, моренные глины и суглинки и некоторые щебенистые почвы, связанные аллювиальными суглинками в приморских низменностях.

14.4.3. Расчет междренних расстояний при взаимно параллельном расположении каналов и дрен. При исследовании осушительного действия дренажа на исследованных участках нами установлено, что в случае равномерного расположения дрен создается неравномерность регулирования водного режима почв в междранной полосе. При одинаковом междренном расстоянии вблизи канала УГВ снижаются быстрее, чем на значительном расстоянии от него.

С целью улучшения равномерности регулирования водного режима для случая взаимного параллельного расположения каналов и дрен нами разработана схема осушительной системы с переменным расстоянием между дренами (рис. 14.17).

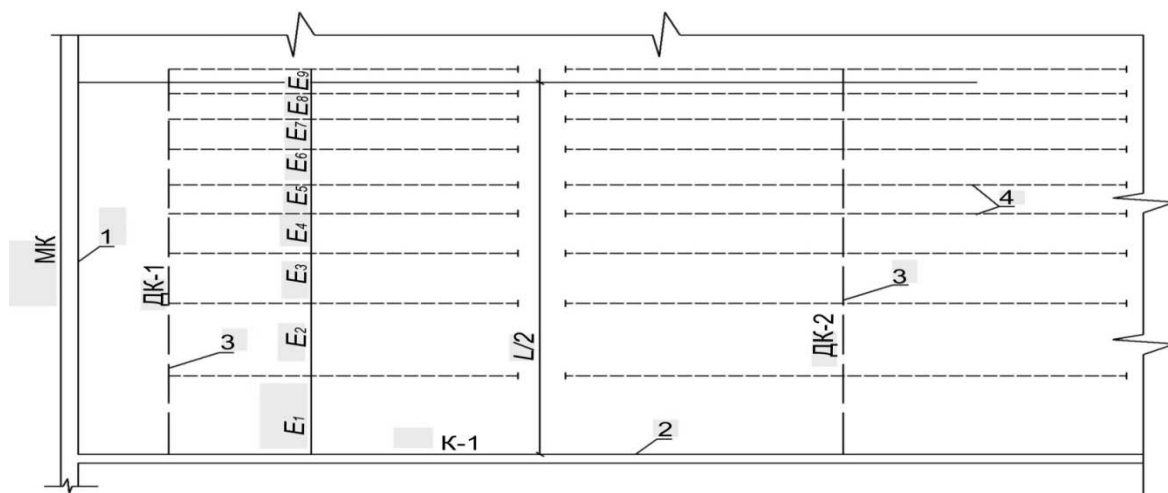


Рис. 14.17. Схема коллекторно-дренажной системы с переменными расстояниями между дренами:
1 – магистральный канал; 2 – проводящий канал; 3 – дренажный коллектор;
4 – регулирующие дренажи

В этой схеме расстояние между дренами увеличивается по мере приближения к открытому каналу. Расстояние от бровки канала к первой дрене определяется осушительным действием открытого канала и дрены с применением полученных нами зависимостей.

Для случая осушения только каналами имеем

$$V_c = 2,91 \frac{\sqrt{H}}{B} . \quad (14.27)$$

Отсюда

$$B = 2,91 \frac{\sqrt{H}}{V_c} . \quad (14.28)$$

при $V_c = 0,071$ м/сутки

$$B = 41,05 \sqrt{H} . \quad (14.29)$$

Расстояние от бровки канала к первой дрене можно найти по выражению

$$E_1 = B + \frac{E_0}{2} . \quad (14.30)$$

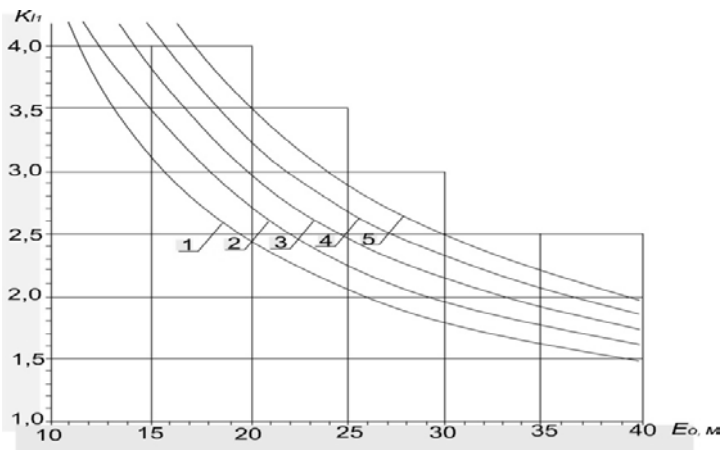
Тогда коэффициент, учитывающий влияние канала, определяем как

$$K_L = \frac{E_1}{E_0} = \frac{B}{E_0} + 0,5 . \quad (14.31)$$

Подставив (14.26) в (14.28), получаем

$$K_{L_1} = \frac{41,05 \sqrt{H}}{E_0} + 0,5 . \quad (14.32)$$

Уравнение (14.32) представлено на графике (рис. 14.18).



1 – $H_k = 1,5$ м; 2 – $H_k = 2,0$ м; 3 – $H_k = 2,5$ м; 4 – $H_k = 3,0$ м; 5 – $H_k = 3,5$ м

Рис. 14.18. График для определения коэффициента K_{L_i} при размещении дрен параллельно каналу

Расстояния между следующими дренами определяются по уравнению (14.32) методом последовательных приближений.

14.5. Исследование элементов технологии подпочвенного увлажнения

Технология подпочвенного увлажнения включает ряд вопросов, связанных с обоснованием и расчетом режима увлажнения, определением оптимальных параметров регулирующей сети, необходимых напоров в дренах и над устьями коллекторов, корректировкой сроков увлажнения с учетом параметров и конструкций осушительно-увлажняющей сети и тому подобное.

В течение 1979-1962 годов нами были выполнены полевые исследования по изучению элементов технологии подпочвенного увлажнения в условиях дерново-подзолистых и дерновых глеевых почв Западного Полесья Украины.

14.5.1. Режим увлажнения. Режим увлажнения является основой для проектирования технических средств и проведения увлажняющих мероприятий. Расчет режима увлажнения заключается в определении оросительных и поливных норм и установлении сроков проведения поливов.

Определение поливных и оросительных норм осуществляется на основании расчетов водного баланса активного слоя почвы по известному уравнению

$$W_k = W_n + O_{ef} + C - I, \quad (14.33)$$

где W_k , W_n – влагозапасы расчетного слоя почвы соответственно на конец (к) и начало (н) расчетного периода;

O_{ef} – соответствующие эффективные осадки;

C – капиллярное питание;

I – инфильтрация (сток).

Методика расчета режима увлажнения подробно изложена в рекомендациях, разработанных для условий Полесья Украины [20]. Учитывая, что разработки УкрНИИГиМ в основном относятся к пойменным землям, представленным торфяниками, нами были внесены уточнения в определения некоторых составляющих водного баланса относительно непойменных минеральных почв.

На основании лизиметричных исследований, проведенных в годы различной обеспеченности осадками, нами получены зависимости для определения декадных значений интенсивности капиллярной подпитки и коэффициента использования осадков [8]

$$C_0 = 5,06 \frac{K_H^{1,16} \cdot t^{1,39}}{H_r^{0,92} (1+0)^{0,21}}; \quad (14.34)$$

$$K_{ef} = 0,14 \frac{H_r^{0,25} t^{0,37} (1+n)^{0,55}}{O^{0,34} (1+O_1)^{0,06}}, \quad (14.35)$$

где t – температура воздуха, °С; n – количество дней с осадками в декаде.

При значениях $K_n = 0,4-1,0$; $t = 6-22^\circ$; $n = 0-10$ суток; $O = 0-60$ мм; $O_1 = 0-40$; $H_r = 40-120$ см; $R_c = 0,95$; $R_k = 0,98$.

Изучались два способа подпочвенного увлажнения: путем длительного подпора УГВ и циклического их подъема с последующим сбросом. Частным случаем первого способа является предупредительное шлюзование, осуществляемое с целью задержания части весеннего стока. Расчеты показывают, что задержание весеннего стока позволяет полностью удовлетворить потребности растений в воде в средние по водности годы, а также сократить оросительные нормы на 40–50 % в сухие и до 30 % в острозасушливые периоды вегетации.

Расчет режима увлажнения при длительном подпоре УГВ сводится к определению нормы осушения, при которой обеспечивается необходимая интенсивность капиллярной подпитки.

Последнюю можно определить из уравнения (14.34), решив его относительно H_r

$$H_r = 3,38 \frac{t_{cp}}{C_{mp}^{1,09} (1 + O_{cp.дек})^{0,23}} \text{ см}, \quad (14.36)$$

где t_{cp} – среднесуточная температура за расчетный период; $O_{cp.дек}$ – среднедекадное количество атмосферных осадков за расчетный период, мм; C_{mp} – необходимая интенсивность капиллярной подпитки, равная среднесуточному дефициту водопользования, определенная из уравнения водного баланса, мм/сутки.

При циклическом увлажнении предполагается активное пополнение влагозапасов верхнего слоя почвы путем резкого подъема УГВ до глубины, обеспечивающей внедрение капиллярной каймы в корнеобитаемый слой. Исследованием связи между потенциалом влаги и влажностью почвы [69] установлено, что для обеспечения оперативного и эффективного реагирования верхних слоев почвы на подъем УГВ последние необходимо поддерживать на расстоянии от слоя потребления, не превышающем высоту капиллярной зоны (50–60 см). Это вполне подтверждается и нашими данными (рис. 14.19).

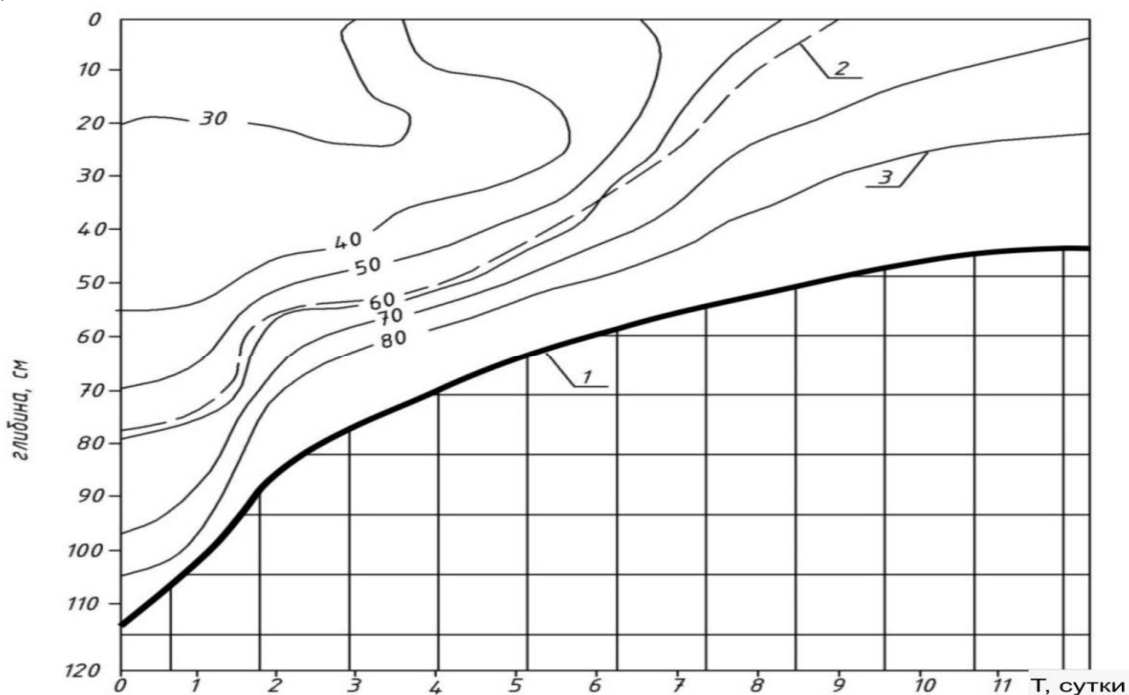


Рис. 14.19. Динамика УГВ и влажности почвы (% ПВ) при подпочвенном увлажнении: 1 – УГВ; 2 – влажность, что соответствует НВ; 3 – хроноизолинии влажности почвы

Влажность 0,5 м слоя почвы начинает существенно расти только при подъеме УГВ до 0,8–0,7 м от поверхности, а при $H_r = 0,6$ м приближается к наименьшей влагоемкости. Таким образом, подъем грунтовых вод на уровень 0,6 м от поверхности почвы позволит увлажнить его верхний слой до НВ, то есть до верхней оптимальной границы.

Для сравнительной оценки коэффициентов недостатка насыщения и водоотдачи нами были проведены экспериментальные исследования в лизиметрах и получены следующие уравнения:

$$\mu = \frac{9,46\Delta h^{0,38}}{W_a^{1,25}}; \quad (14.37)$$

$$\delta = 0,098\Delta h^{0,35}; \quad (14.38)$$

где μ – коэффициент нехватки насыщения; W_a – влажность почвы, % от объема, δ – коэффициент водоотдачи.

При значениях $\Delta h = 0,2-1,2$ м; $W_a = 20-50$ % от объема; $R = 0,97$.

Причем уравнения (14.38) является частным случаем формулы Г. Д. Еркина

$$\delta = 0,056K_\phi^{0,5}\Delta h^{0,33}. \quad (14.39)$$

Подставив в (14.39) средневзвешенное значение $K_\phi = 2,69$ м/сутки для исследуемых почв, получаем

$$\delta = 0,092\Delta h^{0,33}. \quad (14.40)$$

То есть выражения (14.38) и (14.40) практически совпадают.

Численные значения коэффициента недостатка насыщения близки к значениям водоотдачи при влажности 0,7–0,8 от НВ. Именно в этом интервале находится предельная полевая влагоемкость (ППВ), рассчитанная для данных почв при глубине грунтовых вод 0,6–1, 2 м по формуле [12]

$$W_{ППВ} = 10\Delta H_i \rho_i - 56K_\phi^{0,5} \rho_e H_\Gamma^{1,333}, \quad (14.41)$$

где: пористость слоя почвы в долях единицы

$$\rho_i = 1 - \left(1 - \frac{\Delta H_i}{H_\Gamma}\right)^{1,75}, \quad (14.42)$$

пористость, соответствующая водоотдачи, в долях единицы

$$\rho_e = 1 - \left(1 - \frac{\Delta H_i}{H_\Gamma}\right)^{1,333}. \quad (14.43)$$

Следовательно, при насыщении почвы до ППВ коэффициент недостатка насыщения можно принимать равным коэффициенту водоотдачи (например, при расчете подъема УГВ в результате инфильтрации атмосферных осадков). Циклическое увлажнение обычно начинают проводить при влажности (0,5–0,4) ПВ, в этом случае значение почти в два раза превышает коэффициент водоотдачи.

Решив совместно уравнения (14.38) и (14.40), получаем формулу для расчета коэффициента недостатка насыщения минеральных почв

$$\mu = 96,53\delta \cdot W_a^{-1,25} \text{ или } \mu = 5,76K_\phi^{0,5}\Delta h^{0,33} \cdot W_a^{-1,25}. \quad (14.44)$$

Расчеты по (14.3) с учетом (14.44) показывают, что количество воды, необходимое для подъема УГВ, пропорционально $\Delta h^{1,33}$. Поэтому глубокое осушение вызывает резкое увеличение расходов поливной воды.

14.5.2. Влияние параметров дренажа на режим грунтовых вод при подпочвенном увлажнении. При проектировании и практическом осуществлении подпочвенного увлажнения, кроме норм и сроков полива, необходимо учитывать динамику УГВ. От скорости подъема грунтовых вод зависят сроки проведения и равномерность увлажнения, которая оказывается решающей при определении основных параметров дренажа. Для определенного типа почв интенсивность подъема УГВ зависит от многих факторов: напора в дрене, расстояния между дренами, конструкции и диаметра дрены, расстояния от открытого канала.

Существует два способа подачи воды на увлажнение: к устью дрен путем подпора уровня воды в ведущих каналах (против уклона дрен) и в истоки дрен со специально построенной увлажняющей сети или нагорных и ловчих каналов (по уклону дрен).

В течение 1979–1982 гг. нами были испытаны оба способа. При этом в случае создания одинаковых напоров в дренах существенных различий в скорости подъема УГВ не установлено. Основным преимуществом второго способа является возможность создания больших напоров в дренах, то есть

значительно повышается оперативность регулирования водного режима, кроме того, в случае необходимости можно легко осуществить промывку дрен после окончания поливного сезона. К недостаткам второго способа относится лишь некоторое увеличение капитальных затрат за счет строительства увлажняющих коллекторов и каналов. При использовании нагорной сети расходы снижаются до минимума.

14.5.3. Влияние междреннего расстояния и напора в дренах на интенсивность подъема уровня грунтовых вод. Эффективность действия регулирующей сети оценивается по интенсивности подъема и спада УГВ. Движение воды в почве осуществляется под действием разности напоров в дрене и в междреннии. Поэтому скорость подъема УГВ в данной точке пропорциональна созданному напору и обратно пропорциональна удалению от дрены.

Наблюдения за динамикой УГВ в зависимости от напора в дренах и ширины междреннего пространства проводились на участках с расстояниями между дренами 18, 24 м и 30 м, диаметром трубок $d = 50$ мм, при защите стыков сплошным фильтром из стеклохолста. Напор в дренах при проведении грунтовых увлажнений менялся в интервале от 0,2 до 1,6 м.

В процессе увлажнения подъем УГВ начинался при разном исходном положении кривой депрессии в междреннем пространстве. При этом рассматривались три случая: 1) УГВ в междреннии выше; 2) на уровне; 3) ниже дрен. Лучший результат достигается в первом случае (рис. 14.20).

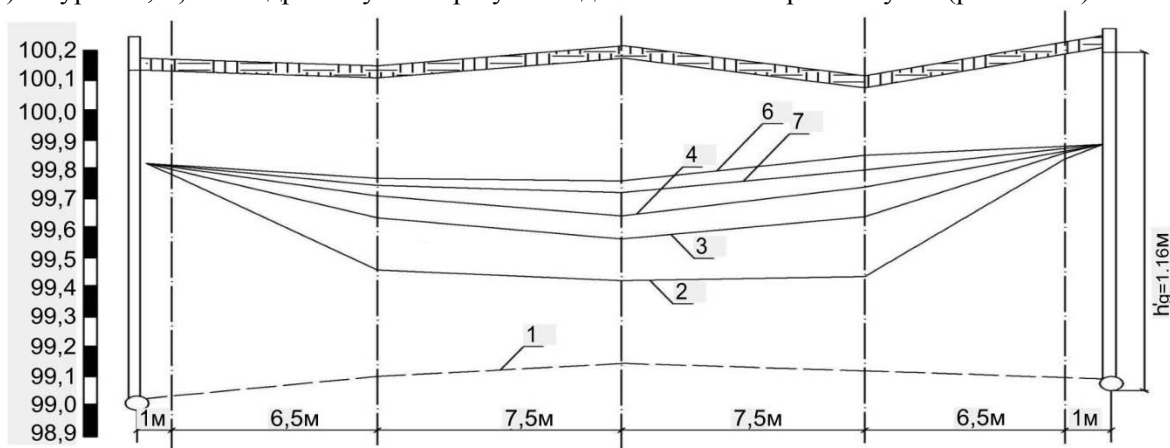


Рис. 14.20. Депрессивные кривые при подпочвенном увлажнении УГВ в междреннии выше дрен:
1 – перед увлажнением, 2, 3, 4, 5, 6 – соответственно через 2, 5, 7, 10 и 14 суток от начала увлажнения

Наблюдения показали, что значение суточного подъема УГВ зависит от начального его положения, величины напора в дренах (при одинаковом междреннем расстоянии) и уменьшается со временем. Стабилизация депрессионной кривой происходит постепенно. Сначала прекращается подъем УГВ вблизи дрены, затем затухания подъема постепенно перемещается в центр междренней полосы. При этом время полной стабилизации УГВ практически не зависит от его исходного положения и напора в дрене (табл. 14.8).

Таблица 14.8

Продолжительность стабилизации УГВ при подпочвенном увлажнении, сут

Напор в дрене h'_d , м	Исходное положение УГВ относительно оси дрены h'_0 , м	Удаление от дрены b , м			
		0-0,25	1,0	7,5	15
1,16	0,10	0,7	6	12	14
0,64	-0,19	0,6	6	12	14
0,62	0,00	0,9	7	11	13

Продолжительность стабилизации на участке с $E = 30$ м в среднем равнялась 6 суткам в 1 м, 12 суткам в 7–8 м и 14 суткам в 15 м от дрены. Эти данные свидетельствуют о том, что с увеличением расстояния между дренами удлиняются сроки увлажнения.

Связь времени стабилизации (τ) с расстоянием от дрены имеет вид

$$\tau = 6,09 \cdot b^{0,33}, \quad (14.45)$$

(при значениях $b = 1-15$ м, $R = 0,95 \pm 0,01$).

Для середины междренной полосы (при $b = \frac{E}{2}$) уравнение (14.45) запишем в следующем виде

$$\tau = 4,85 \cdot E^{0,33} . \quad (14.46)$$

отсюда

$$E = \frac{\tau^3}{121,12} = 0,0085\tau^3 . \quad (14.47)$$

Согласно уравнению (14.47) для стабилизации УГВ в течение 10 дней (или продолжительности увлажнения, равной 10 суткам) расстояние между дренами должно составлять 9 м. Для $E = 18-30$ м подъем УГВ за 10 суток увлажнения составляет в среднем 92 % общего подъема (табл. 14.9).

Таблица 14.9

Изменение высоты подъема УГВ Δh во времени при различной ширине междренных промежутков, % от общего подъема

Расстояние между дренами, м	Время от начала увлажнения, сут					
	2	5	7	10	12	14
18	43	73	84	94	98	100
24	39	69	81	91	97	100
30	36	67	80	91	97	100

Поэтому в целях экономии поливной воды и эксплуатационных расходов можно ограничиться указанным сроком увлажнения, не доводя подъем УГВ до полной стабилизации.

Для определения времени, в течение которого подъем УГВ составит определенный процент общего подъема, в уравнение (14.46) вводится коэффициент относительной стабилизации $K_{\%}$.

$$\tau_{\%} = 4,85K_{\%}E^{0,33} . \quad (14.48)$$

Тогда (14.47) перепишем с учетом (14.48)

$$E = \frac{\tau_{\%}^3}{4,85K_{\%}^3} . \quad (14.49)$$

Значение $\tau_{\%}$ и $K_{\%}$ приведены в таблице 14.10.

Таблица 14.10

Продолжительность и коэффициент относительной стабилизации УГВ

Подъем УГВ, в % от полного подъема	97	92	82	70
$\tau_{\%}$, сут	12	10	7	5
$K_{\%}$	0,85	0,71	0,50	0,35

Подъем УГВ в дренажной траншее прекращается к концу первых суток. При этом необходимо отметить, что положение установленного УГВ над дренай не достигает уровня воды в пьезометре. Это свидетельствует о наличии потерь напора на выходе из дрена. Например, при $K_{92\%} = 0,71$ и $\tau_{92\%} = 10$ суток $E = 26$ м. Для дрен диаметром 50 мм со сплошной защитой стыков стеклохолстом эти потери составляют около 30 % напора в дренае.

Итак, действующий напор с некоторым приближением может быть выражен

$$H_{\delta} = \varphi h_{\delta}' - h_0' . \quad (14.50)$$

Для дрен указанной конструкции коэффициент, учитывающий потери напора на выходе с дрена при подпочвенном увлажнении (φ), $\varphi = 0,7$.

От действующего напора зависят скорость и общая высота подъема УГВ (рис. 14.21, табл. 14.11). Причем особенно интенсивно подъем УГВ происходит в первые 5–7 суток (табл. 14.9).

Для $E = 18-30$ м зависимость суточного подъема УГВ от действующего напора на удалении от канала на 150–200 м описывается следующим уравнением

$$V_n = 23,45(0,7h_{\delta}' - h_0')^{1,51} + 1,5 , \quad (14.51)$$

(при значениях $0,7h_{\delta}' - h_0' = 0,03-1,05$ м, $R = 0,98 \pm 0,01$)

$$V_n = \frac{8,83}{b^{0,5}} + 1,5 . \quad (14.52)$$

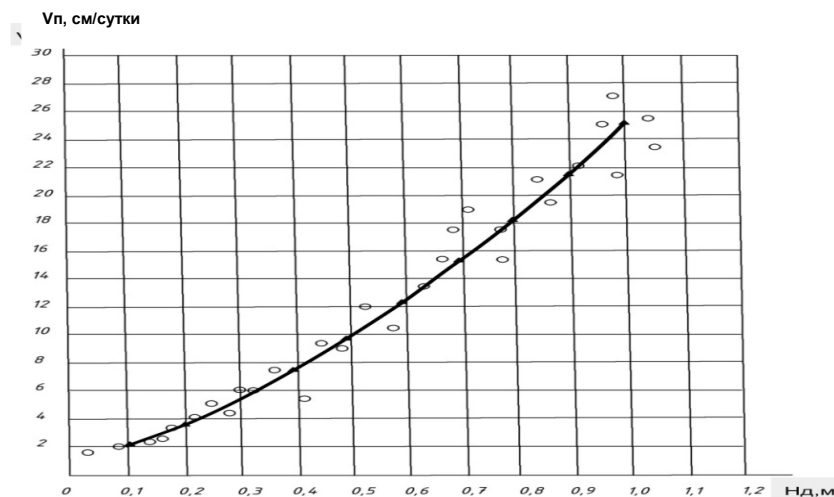


Рис. 14.21. Зависимость интенсивности поднятия УГВ от действующего напора
 $H_q = 0,7h'_q - h_\delta$ (при $d = 50$ мм, при сплошном фильтре)

Таблица 14.11

Влияние действующего напора $(h'_\delta - h'_0)$
на скорость и высоту подъема Δh уровня грунтовых вод

Действующий напор $(h'_\delta - h'_0)$, м	Удаление от дрены, м					
	1,0		7,5		15	
	Δh , м.	$V_{n.c.p.}$, м / сутки	Δh , м.	$V_{n.c.p.}$, м / сутки	Δh , м	$V_{n.c.p.}$, м / сутки
1,06	0,69	11,5	0,63	5,2	0,60	4,3
0,83	0,58	9,7	0,52	4,3	0,49	3,5
0,62	0,39	5,6	0,34	3,1	0,30	2,3

Таким образом, в данной точке увлажняемого участка поля общая зависимость интенсивности подъема УГВ от действующего напора, расстояния до дрены и параметров открытой сети будет иметь вид

$$V_n = a_1 \frac{(\varphi h'_\delta - h'_0)^{1,51}}{b^{0,5}} + a_k. \quad (14.53)$$

Свободный член в уравнении (14.53) учитывает влияние проводящей сети каналов и зависит от ее параметров, а коэффициент a_1 , определенный методом наименьших квадратов, равен 80,17.

В таблицах 14.12 и 14.13 приведены результаты расчета высоты подъема УГВ с теоретическими формулами А. М. Янголя и А. И. Ивицкого [75, 21], свидетельствующие о существенном различии расчетных и опытных данных.

Таблица 14.12

Зависимость высоты и средней скорости подъема УГВ от продолжительности увлажнения на расстоянии 1 м от дрены при напоре $h'_\delta = 1,06$ м

Время от начала увлажнения Т, сут	По А. М. Янголю			По А. И. Ивицкому			По данным исследований		
	Δh		$V_{n.c.p.}$, см / сут	Δh		$V_{n.c.p.}$, см/сут	Δh		$V_{n.c.p.}$, см/сут
	м	%		м	%		м	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0,88	89	44,0	0,04	5	2,0	0,66	96	33,0
5	0,95	96	2,3	0,32	38	9,3	0,68	99	0,7
7	0,96	97	0,5	0,46	55	7,0	0,69	100	0,5
10	0,98	99	0,7	0,64	77	6,0	0,69	100	0,0
12	0,99	100	0,5	0,74	89	5,0	0,69	100	0,0
14	0,99	100	0,0	0,83	100	4,5	0,69	100	0,0

Зависимость высоты и средней скорости подъема УГВ от продолжительности увлажнения на расстоянии 15 м от дрены при напоре $h'_0 = 1,06$ м

Время от начала увлажнения T, сут	По А. М. Янголю			По А. И. Ивицкому			По данным исследований		
	Δh		$V_{н.ср.}$, см/сутки	Δh		$V_{н.ср.}$, см/сутки	Δh		$V_{н.ср.}$, см/сутки
	м	%		м	%		м	%	
2	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,22	36	11,0
5	0,05	20	1,7	0,25	34	8,3	0,40	67	6,0
7	0,09	36	2,0	0,38	52	6,5	0,48	80	4,0
10	0,17	68	2,7	0,55	75	5,7	0,55	91	2,7
12	0,22	88	2,5	0,65	89	5,0	0,58	97	1,5
14	0,25	100	1,5	0,73	100	4,0	0,60	100	1,0

Эти различия наблюдаются как для суммарной высоты подъема, так и для значений подъема при изменении продолжительности увлажнения. Кроме того, рассчитанные по этим двум формулам данные также не согласуются и между собой.

При расчете подъема УГВ вблизи дрены по формуле А. М. Янголя, как и по данным эксперимента, максимальное значение (89 %) имеет место в первые дни увлажнения, и стабилизация кривой депрессии наступает через 7–10 суток после начала увлажнения. Различия рассчитанных по А. М. Янголю значений высоты подъема УГВ с фактическими объясняется тем, что формула не учитывает потерь напора на выходе воды из дрены и увлажняющего действия открытых каналов.

Суммарный подъем за 14 суток увлажнения, рассчитанный по формуле А. И. Ивицкого (с учетом влияния проводящей сети), отличается от фактического на 20 %, то есть меньше, чем рассчитанный по формуле А. М. Янголя (58–65 %).

Однако разногласия в изменении высоты подъема за отдельные промежутки периода увлажнения очень существенные (до 100 %). Необходимо отметить, что при расчете по формуле А. И. Ивицкого стабилизация УГВ не наступает даже через 20 суток после начала увлажнения. Основная причина заключается в том, что при расчете интенсивность испарения с поверхности УГВ принимается постоянной. На самом деле она увеличивается с приближением грунтовых вод к поверхности земли.

Таким образом, процесс подпочвенного увлажнения сложный, недостаточно обоснован теоретически и для отдельных типов почв требует уточнения элементов технологии его проведения на основе натурных исследований.

14.5.4. Влияние диаметра дрен и конструкции фильтра на скорость подъема уровня грунтовых вод. Величина потерь напора при выходе воды из трубок в почву зависит от диаметра дрен, конструкции фильтра и значения напора в дрене. Фактические потери нами определялись по разнице отметок уровня воды в пьезометре и УГВ непосредственно над дренами после их стабилизации. Максимальные потери получены для дренажных труб диаметром 50 мм при соединении их втулками конструкции «Львовдипроводгос», минимальные – для дрен диаметром 100 мм при сплошном фильтре из двух лент стеклохолста. Потери пропорциональны напору и описываются уравнением (рис. 14.22):

$$h'_c = \varphi' h'_0, \quad (14.52)$$

(при значениях $\varphi' = 0,1-0,5$; $h'_0 = 0,4-1,6$ м; $R = 0,92 \pm 0,02$).

Для исследуемых конструкций дрен коэффициенты потерь напора на выходе из дрены приведены в таблице 14.14.

Таблица 14.14

Коэффициенты φ' в зависимости от диаметра дрен и конструкции фильтра

Диаметр дрен d, мм	Конструкция фильтра				
	Сплошной		Прерывистой		Комбинированный
	из двух полос стеклохолста кровельного и подстилочного	только кровельного	из пакли, положенной сверху на стыках труб	полиэтиленовые втулки	
50	0,31	0,37	0,38	0,46	0,35
75	0,24	-	-	-	-
100	0,18	-	-	-	-

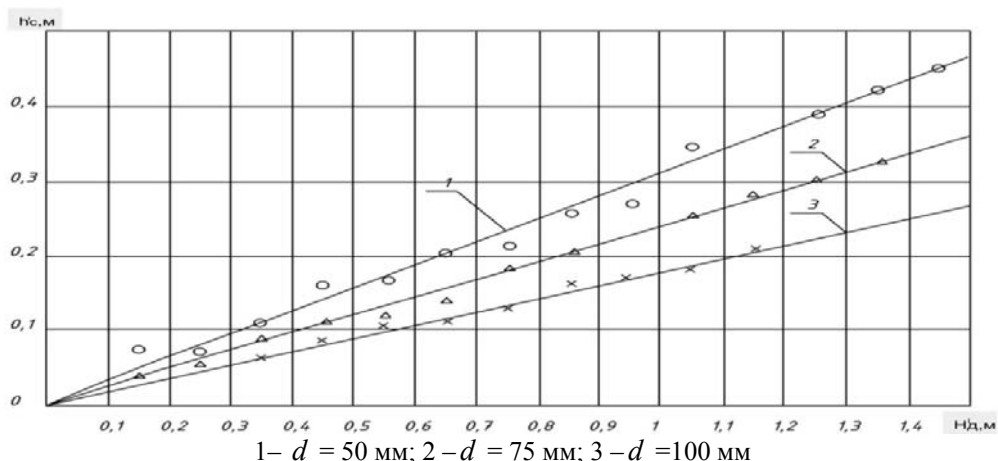


Рис. 14.22. Зависимость h'_c от величины напора в дренах h'_d и диаметра дрена при сплошном фильтре из стеклохолста

При известных значениях φ' коэффициент φ в уравнении (14.19) равен $\varphi = 1 - \varphi'$. Определив таким образом значение коэффициента φ и пользуясь зависимостью (14.54), можно вычислить скорость подъема УГВ с учетом диаметра дрена и конструкции фильтра.

При оценке влияния конструкции дрена на осушительное действие дренажа (табл. 14.15) максимальные потери напора на входе получены при защите стыков дрена только полосками пакли.

Таблица 14.15

Средние значения потерь напора (%) на линии контакта дрена с почвой при двустороннем действии дренажа

Диаметр дрена d , мм	Конструкция фильтра				
	сплошной		прерывистый		комбинированный
	из двух полос стеклохолста кровельного и подстилочного	только кровельной	из пакли вложенной сверху на стыках труб	полиэтиленовые втулки	
1. Режим осушения					
50	31	36	43	36	33
75	26	-	-	-	-
100	22	-	-	-	-
2. Режим увлажнения					
50	31	37	38	46	35
75	24	-	-	-	-
100	18	-	-	-	-

При работе дрена в режиме подпочвенного увлажнения наибольшие потери наблюдаются на дренаже с полиэтиленовыми втулками. Это объясняется тем, что конструкция фильтра оказывает более сильное влияние на приток воды при осушении, чем на отток при подпочвенном увлажнении.

В режиме увлажнения на смену оттока воды из дрена более существенное влияние оказывает площадь перфорации. Поэтому на участках с полиэтиленовыми втулками, площадь перфорации которых в 1,5 раза меньше площади зазоров керамических дрена, потери напора на выходе значительно выше и соответственно ниже скорость подъема УГВ.

Поскольку потери напора обратно пропорциональны площади фильтрующих зазоров, существенное увеличение скорости подъема УГВ при подпочвенном увлажнении может быть достигнуто путем увеличения удельной площади перфорации или диаметра дрена.

Таким образом, в песчаных почвах потери напора, а следовательно, и фильтрационные опоры, обусловленные несовершенством конструкции дрена, в режимах осушения и увлажнения близки между собой. Поэтому для практических расчетов подпочвенного увлажнения можно использовать значения сопротивлений, вычисленные для режима осушения.

13.5.5. Влияние ведущей сети каналов на интенсивность подъема уровня грунтовых вод. Влияние открытых каналов в наших разработках учитывается параметром a_k (формула 14.52). В

общем случае он является приростом скорости подъема УГВ за счет увлажняющего действия проводной сети и зависит от расстояния между данной точкой и каналом, а также от разницы отметок УГВ и уровня воды в канале. При различных относительных положениях этих уровней прирост может принимать положительные и отрицательные значения, равен нулю. Отрицательным бывает при увлажнении путем подачи воды в истоки дрен из специальной увлажняющей сети в случаях, когда уровень воды в сбросном канале ниже УГВ на системе. При этом сбросной канал ослабляет действие регулирующей сети, работающей в режиме увлажнения, и увеличивает непроизводительные потери воды. Но отсутствие подпора в сбросном канале имеет одно преимущество: в случае ливневых осадков можно оперативно снизить УГВ на системе и предотвратить переувлажнение корневого слоя почвы.

Для данной точки мелиорированного участка динамика подъема УГВ при увлажнении наглядно может быть представлена в виде депрессионных кривых.

В качестве примера, на расстоянии 50 м от канала (рис. 14.23) поверхность грунтовых вод к концу увлажнения становится горизонтальной. В то же время на расстоянии 200 м перепад между отметками УГВ в дрене и в междренном пространстве составляет 10–15 см. Общий подъем УГВ в междренном пространстве за 14 суток достигает 88,77 и 65 см на расстоянии от канала соответственно 50, 125 и 200 м.

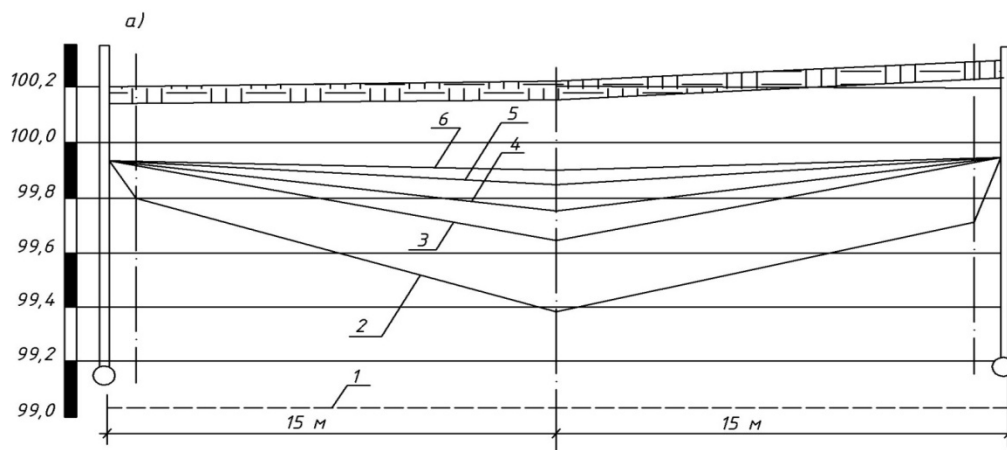


Рис. 14.23. Депрессионные кривые при подпочвенном увлажнении на участке с $E = 30$ м при удалении канала: а) 50 м; б) 125 м; в) 200 м;

1 – перед увлажнением; 2, 3, 4, 5 и 6 соответственно через 2, 5, 7, 10 и 14 суток от начала увлажнения

Изучение изменения интенсивности подъема УГВ проведено в точках на расстоянии 25, 50, 100, 125, 150, 200 и 250 м от канала. При обработке данных наблюдений получена зависимость суточного подъема уровней грунтовых вод от положения точки относительно канала, она представлена на рисунке 14.24. Зависимость средней скорости УГВ от расстояния к каналу при подпочвенном увлажнении представлена на рисунке 14.25.

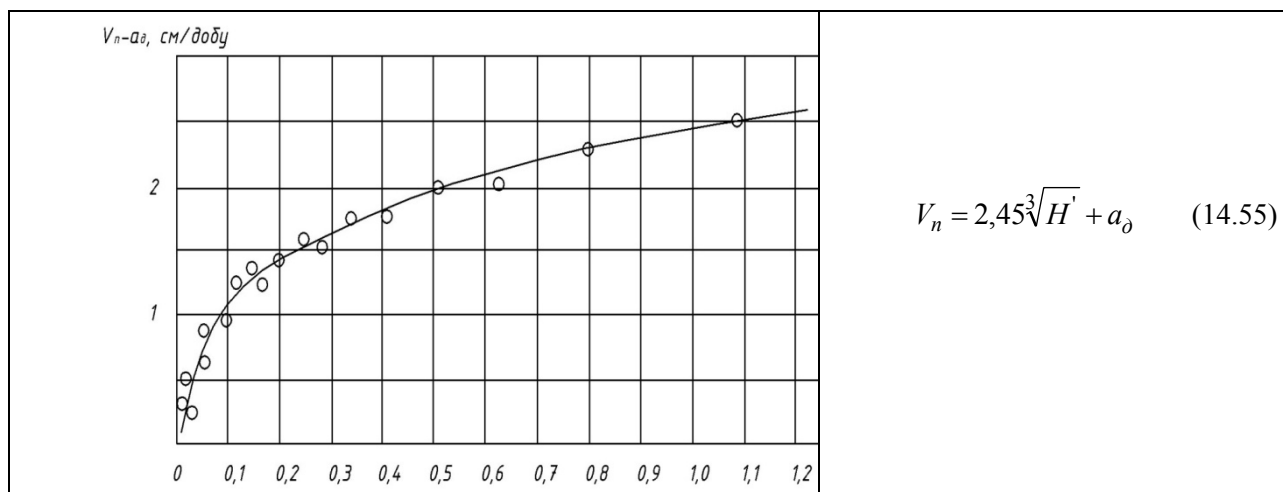
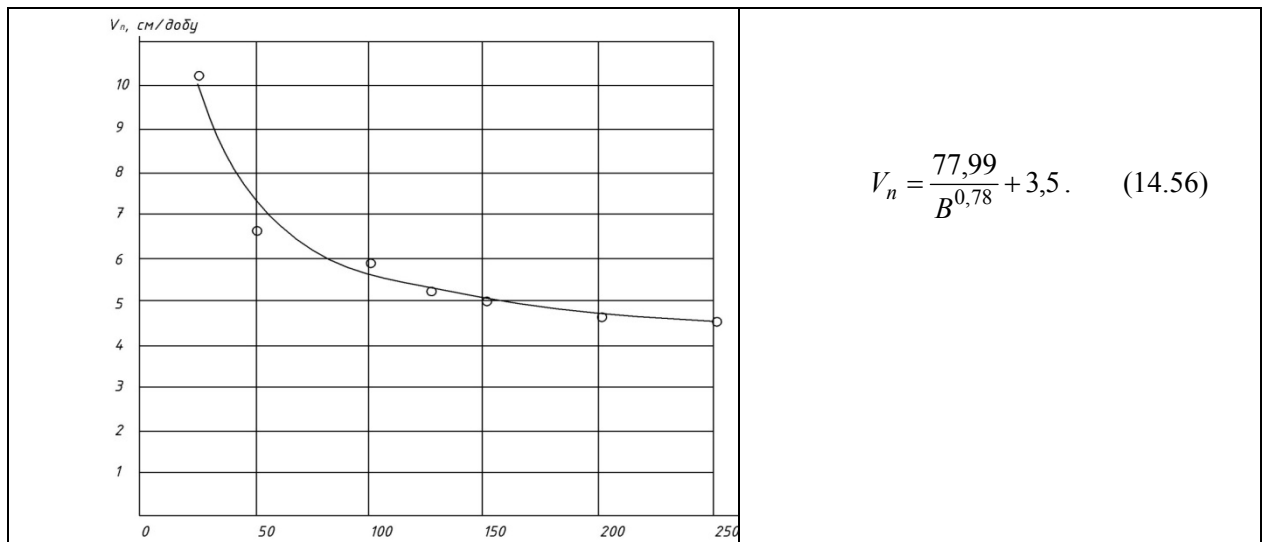


Рис. 14.24. График $(V_n - a_0) = f(H')$



$$V_n = \frac{77,99}{B^{0,78}} + 3,5. \quad (14.56)$$

Рис. 14.25. Зависимость средней скорости УГВ от расстояния до канала при подпочвенном увлажнении

С учетом (14.55) и (14.56) имеем

$$V_n = a_0 + a_2 \frac{\sqrt[3]{H'}}{B^{0,78}}, \quad (14.57)$$

где a_2 – эмпирический коэффициент, равен 105,82.

$$a_0 = 80,17 \frac{(\varphi h'_0 - h'_0)^{1,51}}{b^{0,5}}. \quad (14.58)$$

В общем случае прирост a_k равен

$$a_k = 105,82 \frac{\sqrt[3]{H'}}{B^{0,78}}. \quad (14.59)$$

14.5.6. Расчет динамики депрессионной кривой при подпочвенном увлажнении. При проектировании и эксплуатации ОУС необходимо определить положение кривой депрессии в междренном пространстве в момент времени T после начала увлажнения. Отметка уровня воды в канале, напор в дренах, конструкция дрены и фильтра, исходное положение УГВ при этом обычно известны.

Задаваясь начальными значениями h'_0 , условием устойчивости и отметкой уровня воды в канале, по уравнению (14.52) можно рассчитать подъем УГВ в любой точке системы за первые сутки.

Затем вносятся поправки на величину суточного подъема

$$h'_{01} = h'_0 + \Delta h_1; \quad (14.60)$$

$$H'_1 = H' - \Delta h_1. \quad (14.61)$$

Подставляя в (14.52) вместо h'_0 и H' значение h'_{01} и H'_1 , определяем V_{n2} , равную Δh_2 . Аналогичный расчет выполняется для следующих суток.

С целью сокращения времени расчетов сделаем некоторые преобразования.

Скорость подъема УГВ в любой промежуток времени зависит от параметров увлажняющей сети (междренных и межканальных расстояний, диаметров дрен и т.д.), напора, наполнения каналов, начального положения УГВ и продолжительности расчетного периода, то есть

$$V_{nm} = f(h'_0, \varphi, h'_0, b, H', B, T). \quad (14.62)$$

Но (14.52) мы имеем, что

$$V_{n0} = \Delta h_1 = f_1(h'_0, \varphi, h'_0, b, H', B). \quad (14.63)$$

Следовательно, для определения подъема УГВ в любом промежутке времени нам необходимо найти функцию

$$V_{nm} = f_2(\Delta h_1, T). \quad (14.64)$$

На основании обработки экспериментальных данных, дополненных расчетами по (14.52), полученная зависимость изменения интенсивности подъема УГВ во времени

$$V_{nm} = 4,203 \frac{\Delta h_1^{0,468}}{T^{0,724}}, \quad \text{см/сутки} \quad (14.65)$$

Среднее отклонение расчетных величин от фактических составляет $\pm 0,4$ см/сутки, то есть находится в пределах точности измерения УГВ общепринятым способом (мерной лентой). Отклонение расчетного суммарного подъема УГВ за 14 суток от фактического составляет 4,6 %, что также свидетельствует о возможности использования зависимости (14.65) для соответствующих расчетов.

Выполним некоторые преобразования

$$V_{nm} = \frac{d(\Delta h)}{dT} \quad \text{или} \quad \frac{d(\Delta h)}{dT} = 4,203 \frac{\Delta h_1^{0,47}}{T^{0,72}}. \quad (14.66)$$

Разделив переменные и проинтегрировав, получим

$$\Delta h = 15,23 \Delta h_1^{0,47} \cdot T^{0,28} + C. \quad (14.67)$$

Для определения постоянной C в (14.67) подставляем начальные условия. При $T = 1$ сутки $\Delta h = \Delta h_1$. Отсюда

$$C = \Delta h_1 + 15,23 \Delta h_1^{0,47}. \quad (14.68)$$

Подставив (14.68) в (14.67), получаем

$$\Delta h = \Delta h_1 + 15,23 \Delta h_1^{0,47} (T^{0,28} - 1). \quad (14.69)$$

С помощью уравнения (14.69) можно определить высоту подъема УГВ в любой точке участка дренирования в момент времени T после начала увлажнения, при этом Δh_1 определяется по (14.52).

Расчеты режима грунтовых вод при подпочвенном увлажнении значительно упрощаются при использовании ПОВМ.

В этом случае можно решать и ряд обратных задач:

1. По заданному подъему УГВ за T суток, известных a_k и $(\phi h'_d - h'_0)$ определяют b , то есть находят необходимое расстояние между дренами $E = 2 \cdot b$.
2. По заданным b , и $(\phi h'_d - h'_0)$ определяют время подъема УГВ.
3. По заданным b , a_k и T определяют величину $(\phi h'_d - h'_0)$, учитывающую конструкцию дрены, и, задавая начальным положением УГВ (допустимое снижение), определяют необходимый напор в дрене при осуществлении подпочвенного увлажнения.

14.5.7. О возможности использования элементов осушительной сети для подпочвенного увлажнения. В настоящее время расстояние между дренами для условий подпочвенного увлажнения E_{oc} большинство исследователей рекомендует принимать равным [44, 49 и др.] $(0,6-0,7) E_{oc}$, где E_{oc} – междреннее расстояние, определено для условий осушения.

Наши исследования показали, что иногда даже двукратное сокращение E_{oc} , рассчитанного в соответствии с требованиями интенсивности снижения УГВ, не обеспечивает эффективного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы в оптимальные сроки. И, наоборот, расстояние между дренами, установленное для условий осушения, обеспечивает необходимую интенсивность и высоту подъема УГВ при увлажнении. Причина этого в том, что в почвах легкого гранулометрического состава потери напора при фильтрации через почву в междренном пространстве сравнительно малы (табл. 14.16).

Таблица 14.16

Потери напора при подпочвенном увлажнении длительностью $T = 10$ суток на участках дренажа с $d = 50$ мм, сплошным фильтром из стеклохолста, $B = 150-200$

Напор в дрене h_d , м	Расстояние между дренами, м								
	18			24			30		
	Потери напора, см								
	суммарные	на выходе	в почве	суммарные	на выходе	в почве	суммарные	на выходе	в почве
0,9-1,0	42	28	14	46	30	15	48	29	19
0,7-0,8	31	23	8	37	22	15	39	22	17
0,5-0,6	23	17	6	25	17	8	28	15	13

При увеличении расстояния между дренами с 18 до 30 м потери напора в почве растут на 5–10 см. Поэтому, создав необходимый напор в дренах, можно успешно проводить увлажнение без сокращения междренних расстояний, определенных для условий осушения.

В настоящее время большинство ОУС проектируется с подачей воды на увлажнение путем подпора уровней воды в ведущих каналах, то есть против уклона дрен.

В случае увлажнения способом длительного подпора УГВ напор в дренах должен обеспечивать поддержание необходимой нормы осушения, которая для многолетних трав – наиболее влаголюбивой культуры – составляет 0,8–1,0 м [41]. Минимальная глубина дрен в истоках – 0,8 м. Следовательно, оптимальное положение УГВ совпадает с уровнем закладки дрен. Опытами установлено, что для предотвращения дальнейшего снижения УГВ напор в дренах должен составлять 0,1–0,15 м. При этом междреннее расстояние, определенное для условий осушения, вполне удовлетворяет условиям увлажнения.

Рассчитаем необходимое в этом случае превышения уровня воды в канале над устьем коллектора (рис. 14.26).

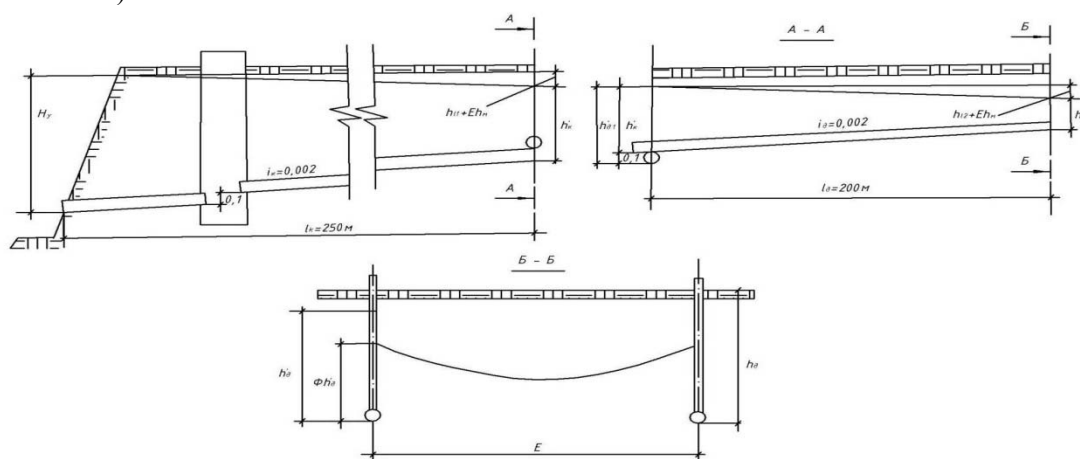


Рис. 14.26. Схема расчета нужного напора над устьем дренажного коллектора при подаче воды в устье дрен

Предположим, что ширина межканальной полосы $L = 500$ м. В худших условиях находится ее средняя часть. Средняя длина дрены $l_d = 200$ м, коллектора – $l_k = 250$ м, уклон дрены и коллектора i_k уровне 0,002. Напор над устьем коллектора определим как

$$H_y = h'_d + h_2 + \sum h_l + \sum h_m, \quad (14.70)$$

где h'_d – необходимое давление в конце дрены, м; h_2 – перепад отметок устья коллектора и конца дрены, м;

$$h_2 = i_k l_k + i_d l_d + \Delta h_{кол.} + \Delta h_{соез.}, \quad (14.71)$$

где $\sum h_l$ – сумма потерь напора по длине, м; $\sum h_m$ – сумма местных потерь, м; $\Delta h_{кол.} + \Delta h_{соез.}$ – перепад отметок соответственно в колодце и в месте соединения дрены с коллектором, м.

Учитывая, что при увлажнении путем длительного подпора скорости движения воды в дренах и коллекторах ничтожно малы, значениями $\sum h_l$ и $\sum h_m$ можно пренебречь.

Для рассматриваемого случая

$$H_y = 0,1 + 0,002 \cdot 200 + 0,002 \cdot 250 + 0,1 + 0,1 = 1,0 \text{ м.} \quad (14.72)$$

Таким образом, для увлажнения путем длительного подпора УГВ необходимо создавать напор над устьем сбросного коллектора $H_y = 1$ м, что вполне реально в производственных условиях.

В случае увлажнения с помощью циклических подъемов УГВ следует осуществить повышение последних до глубины 0,5–0,6 м в течение расчетной декады. Естественно, что выполнить это при $H_y = 1$ м невозможно при любых междренних расстояниях. К тому же в случае циклического увлажнения, кроме геодезических потерь напора, необходимо учитывать и гидравлические потери ($\sum h_l, \sum h_m$).

Потери по длине определяются

$$h_l = \frac{1,1V^2 l \lambda}{8gr} \quad (14.73)$$

Значения потерь напора по длине, полученные в полевых условиях на исследуемых 2–3 года дренах (табл. 14.17), более чем в два раза превышают потери, рассчитанные по формуле (14.73).

Таблица 14.17

Потери напора по длине дрены h_l при различных ее диаметрах см / м

Диаметр, мм	По формуле (13.37) при $V = 0,1$ м/с ; $\lambda = 0,03-0,08$	По данным эксперимента $V = 0,07-0,13$ м/с
50	0,034-0,090	0,080-0,165
75	0,022-0,060	0,065-0,120
100	0,017-0,045	0,050-0,100

Кроме потерь по длине, имеются местные потери напора: при соединении дрен с коллектором, в регулирующих колодцах и на входе в устье коллектора (табл. 14.18).

Таблица 14.18

Местные потери напора h_m при подпочвенном увлажнении

№ п/п	Наименование потерь	Средние потери по опытным данным, см
1	Соединение дрен с коллектором внахлест	0,5-1,0
2	Соединение дрен с коллектором встык	0,1-0,6
3	Регулирующий колодец	2,5-5,0
4	Устье коллектора	2,5-4,0

Расчеты показывают, что для подъема УГВ от глубины заложения дрен до глубины 0,6 м от поверхности земли при междренном расстоянии, определенном для условий осушения, необходимо создать напор над устьем коллектора 0,01 м $H_y = 2,29$ м. В случае сокращения E в два раза требуемое значение H_y уменьшается всего на 10 см и составляет 2,19 м. Создание таких напоров практически невозможно, поэтому дренажные системы с уклонами 0,002–0,003 могут быть использованы для увлажнения путем подачи воды в устья дрен лишь при длительном подпоре УГВ. В этом случае междренные расстояния, определенные для условий осушения, удовлетворяют условиям подпочвенного увлажнения.

При средней глубине заложения дрен $h_0 = 1,2$ м для подъема грунтовых вод на уровень 0,5–0,6 м от поверхности земли напор в дренах должен быть не менее 0,9–1,0 м (рис. 14.27).

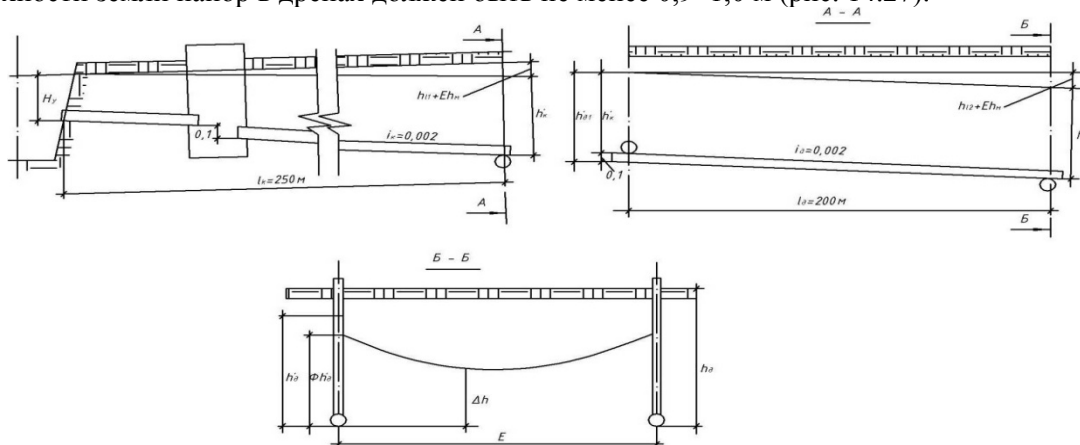


Рис. 14.27. Схема расчета нужного напора над устьем дренажного коллектора при подаче воды в русло дрены

При этом определенное для условий осушения расстояние между дренами вполне удовлетворяет и условиям подпочвенного увлажнения. При подаче воды в истоки дрен указанный напор можно создать, используя специальные увлажняющие или нагорные каналы.

14.6. Эффективность применения различных конструкций дрен с учетом влияния проводной сети открытых каналов

Расстояние между дренами влияет не только на интенсивность регулирования водного режима, но и на капитальные затраты при сооружении системы в целом. Поэтому изменение параметров дренажа с учетом конструкций дрен и влияния проводящей сети каналов существенно влияет и на стоимость систем.

Применение разработанных нами поправочных коэффициентов K_f , K_d и K_l , учитывающих конструкцию фильтра, диаметр дрен и элементы проводящей сети, позволяет сократить протяженность дренажных линий без ухудшения водного режима почв и тем самым снизить строительные затраты. Расчет удельного (на 1 га) экономического эффекта проведен на основе сравнения приведенных затрат [66, 67]

$$E_o = Z_1 - Z_2, \quad (14.74)$$

где Z_1 и Z_2 – приведенные затраты на строительство дренажа соответственно при базовом и новом вариантах, руб./га;

$$Z_i = C_i + K_i E_n, \quad (14.75)$$

где C – сметная себестоимость строительства дренажа, руб./га;

$$C_i = C_0 \cdot l_0; \quad (14.76)$$

C_0 – стоимость 1 м дренажа, руб./м;

l_0 – протяженность дренажных линий на 1 га, м/га;

K_i – капиталовложения в производственные фонды строительной организации, руб./га;

$E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Таким образом, учет влияния конструкции фильтра на увеличение водозахватывающей способности дрен позволяет получить дополнительный эффект 11–34 руб./га. В связи с относительно высокой стоимостью полиэтиленовых втулок конструкции «Львовдипроводгосп» применение их в строительстве дренажа не дает экономического эффекта. При выполнении регулирующей сети из трубок диаметром 100 мм имеет место увеличение приведенных затрат до 31,7 руб./га.

В качестве базы сравнения принята обычная схема с междренним расстоянием, определенным без учета влияния каналов при диаметре дрен 50 мм и защитой стыков двумя сплошными лентами стеклохолста. Междренние расстояния с учетом влияния проводной сети определены при средней глубине канала $H_k = 2,0$ м и расстоянии между каналами $L = 500$ м.

Расчет эффективности учета влияния проводной сети открытых каналов (табл. 14.19) выполнен в ценах и расценках в 1999 г. для двух схем дренажно-коллекторной сети: с постоянным междренным расстоянием (обычная схема) и с переменным междренным расстоянием (новая схема).

Таблица 14.19

Расчет экономической эффективности учета влияния проводящей сети открытых каналов

Схема дренажной системы	l_0 , м/га	C_0 , руб./м	C_i , руб./м	K_i , руб./м	Z_i , руб./м	E_o , руб./м
Базовый вариант без учета каналов						
Обыкновенная	333,3	0,454	154,3	639,6	250,3	-
Заменяемые варианты с учетом каналов						
Обыкновенная	303,0	0,454	157,6	634,2	232,7	17,6
Новая	231,2	0,454	105,0	626,0	198,9	51,4

Полученные результаты показывают, что учет влияния элементов проводящей сети открытых каналов позволяет получить экономический эффект до 51,4 руб./га. При этом только за счет применения схемы с переменным расстоянием между дренами затраты при строительстве дренажа снижаются на 33,8 руб./га.

Литература

1. Аверьянов С. Ф. О расчёте осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания // Научные записки МИИВХ им. В. Р. Вильямса. – М., 1960. – Т. 22. – С. 3–13.

2. Багнак П. С., Черенков А. В. Надежный резерв повышения урожаев (на примере Ярыновской ОУС Сарненского района). – Ровно: Облполиграфиздат, 1978. – 4 с.
3. Балзарявичюс П., Шкаускас Ю., Дайцонас Э. Опыт научных исследований и проектирования осушительно-увлажнительных систем в Литовской ССР // Увлажнение осушенных земель / Научные труды ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1974. – С. 148–159.
4. Блажис Б., Дуоба И. Минимальный диаметр дрен и оптимальная ширина траншей // Вопросы мелиорации. – 1971. – № 6 (14). – С. 3–12.
5. Брусиловский Ш. И. Определение динамики грунтовых вод при увлажнительном шлюзовании торфяных почв // Осушение земель. – Вып. 80/6. – Киев: УкрНИИГиМ, 1961. – С. 20–39 (на укр. яз.).
6. Брусиловский Ш. И., Евчик П. П. Опыт применения глубокого рыхления при осушении тяжелых минеральных почв : обзор. информ. ЦБНТИ. – 1976. – № 15. – 59 с.
7. Брусиловский Ш. И., Козлов Е. М. Влияние глубины и расстояний между дренами на водный режим супесчаных почв // Мелиорация переувлажненных земель / Труды БелНИИМиВХ. – Минск: Ураджай, 1976. – С. 79–90.
8. Брусиловский Ш. И., Писецкий Г. А. Прогноз водного режима на мелиорируемых землях с учетом осушительного действия водо-проводящей и регулирующей сети // Мелиорация переувлажненных земель / Труды БелНИИМиВХ. – Т. XXI. – Минск, 1973. – С. 12–21.
9. Волковский П. А. Увлажнение пойменных земель с подачей воды в закрытую дренажную сеть под напором // Доклады ТСХА. – Вып. 82. – 1962. – С. 21–35.
10. Волковский П. А. Опыт использования закрытого дренажа для увлажнения пойменных земель // Гидротехника и мелиорация. – 1965. – № 6. – С. 23–32.
11. Годлин М. М. Почвы УССР. – Киев, 1951. – 319 с.
12. Данильченко Н. В. Расчет режимов орошения сельскохозяйственных культур // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 1. – С. 46–56.
13. Горизонтальный дренаж орошаемых земель / В. А. Духовный [и др.]. – М.: Колос, 1979. – 254 с.
14. Забочина З. А., Кравченко В. П. Указания по регулированию водного режима пойменных земель. – Киев: Урожай, 1964. – 37 с.
15. Забочина З. А. К нормативам дренирования минеральных избыточно увлажненных земель гончарным дренажем // Водное хозяйство. – Вып. 4. – Киев: Урожай, 1966. – С. 31–37.
16. Забочина З. А. Суммарное водопотребление и его значение в осушении // Мелиорация и водное хозяйство. – Вып. 4. – Киев: Урожай, 1977. – С. 54–59.
17. Закрежевский П. И., Новиков А. А. Некоторые вопросы прогноза уровней грунтовых вод // Мелиорация переувлажненных земель / Труды БелНИИМиВХ. – Т. 28. – Минск, 1979. – С. 59–65.
18. Зайдельман Ф. Р., Закс В. Г. Вопросы регулирования водного режима пойменных земель в районе близкого залегания грунтовых вод // Гидротехника и мелиорации. – 1963. – № 10. – С. 30–39.
19. Зайдельман Ф. Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. – М.: Колос, 1975. – 320 с.
20. Зубец В. М., Еськов А. И. Подпочвенное увлажнение при помощи закрытой осушительно-увлажнительной системы // Мелиорация переувлажненных земель / Труды БелНИИМиВХ. – Т. XXI. – Минск: Ураджай, 1973. – С. 22–30.
21. Ивицкий А. И. О двустороннем регулировании водного режима торфяных почв // Труды БелНИИМиВХ. – 1958. – Т. 9. – С. 3–24.
22. Ивицкий А. И. О проектировании осушительно-увлажнительных систем на болотах Полесья // Увлажнение осушаемых земель / Научные труды ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1974. – С. 130–148.
23. Установление расстояний между дренами (дополнение №1 к руководству по проектированию осушительных систем сельскохозяйственного назначения) / А. И. Ивицкий [и др.]. – Минск: Ураджай, 1981. – 69 с.
24. Ионат В. А. Расчет горизонтального дренажа в неоднородных грунтах. – Таллин: Изд-во ЭНИИЗиМ, 1962. – 347 с.
25. Климко А. И., Канцибер Ю. А., Ермолина Л. М. Расчеты оптимальных параметров сельскохозяйственного дренажа. – М.: Колос, 1979. – 143 с.
26. Когановский Ф., Шульгин Д. Расчет водного режима почвы в условиях работы системы двухстороннего действия // Пути совершенствования проектирования, строительства и эксплуатации дождевальных систем на осушенных землях. – Вильнюс, 1976. – С. 26–28.
27. Кожанов К. Я. Регулирование влажности торфяно-болотных почв // Труды БелНИИИиВХ. – Т. 3. – 1953. – С. 200–242.
28. Кожанов К. Я. Влияние дополнительного увлажнения на водный режим торфяно-болотных почв, урожай овощей и других сельскохозяйственных культур в БССР // Осушение и использование торфяно-болотистых почв. – Минск: Сельхозиздат БССР, 1963. – С. 152–185.
29. Кожанов К. Я. Нормы осушения и полива болот по данным исследования режима влажности корнеобитаемого слоя // Гидротехника и мелиорация. – 1964. – № 11. – С. 41–45.
30. Кожанов К. Я. Регулирование водного режима на осушенных болотах Белоруссии // Мелиорация и исследование осушенных земель. – Т. 15. – Минск: Ураджай, 1967. – С. 21–37.

31. Костяков А. Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозиздат, 1951. – 751 с.
32. Кравченко В. П. Способы регулирования водного режима осушенных торфяных почв // Водное хозяйство. – Вып. 5. – Киев: Урожай, 1966. – С. 50–62.
33. Крупский Н. К., Полупан Н. И. Атлас почв Украинской ССР. – Киев: Урожай, 1979. – 159 с.
34. Кубышкин В. П. Нормативные расстояния между дренами на минеральных землях Прикарпатья // Вопросы мелиорации и эффективного использования осушенных земель Украинского Полесья. – Львов, 1976. – С. 36–40 (на укр. яз.).
35. Лабренцис В. М. Исследование вопросов регулирования влажности дренажными системами двухстороннего действия в условиях Латвийской ССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Елгава, 1974. – 38 с.
36. Лабренцис В. М. Системы двухстороннего действия на основе закрытого дренажа // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 12. – С. 55–35.
37. Маслов Б. С. Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование. – М.: Колос, 1970. – 232 с.
38. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я. Осушительно-увлажнительные системы. – М.: Колос, 1973. – 175 с.
39. Маслов Б. С., Стельмах Е. А., Сидоров М. В. Водообмен грунтовых вод с зоной аэрации при дополнительном увлажнении // Вестник с.-х. науки. – 1981. – № 1. – С. 105–111.
40. Минаев И. В. Расчет оптимальных параметров дренажа с учетом охраны природы // Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. – Сер. 2. – Вып. 8. – 1979. – С. 11–18.
41. Михайлов Г. И. Исследование водоприемной способности и обобщенных сопротивлений горизонтальных трубчатых дрен : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1971. – 22 с.
42. Влияние шлюзования на водно-воздушный режим мелкозалежных торфяников Полесья / А. Н. Михальцевич [и др.] // Мелиорация переувлажненных земель. – Т. 20. – Минск: Ураджай, 1972. – С. 64–72.
43. Московченко В. Ф., Московченко А. К. Увлажнение осушаемых земель нагнетением воды в закрытую дренажную систему под давлением // Вопросы мелиорации и эффективного использования осушенных земель Украинского Полесья. – Львов, 1976. – С. 27–31 (на укр. яз.).
44. Мразаускас Н. Влияние труб различного диаметра и типа на характеристики дренажного стока // Вопросы осушения земель гончарным дренажем. – Елгава, 1975. – С. 36–47.
45. Мясков А. В., Семеринов Е. С. Способы оценки и методика расчета водоприемной способности дренажа // Моделирование, управление, автоматизация гидромелиоративных систем. – Л., 1979. – С. 23–30.
46. Олейник А. Я., Насиковский З. П. Методы расчета мелиоративного дренажа в неоднородно-слоистых средах (пособие для расчета). – Киев: Урожай, 1970. – 230 с.
47. Остапчик В. П. Эвапотранспирация из испарителя ГГИ-3000 как основа для планирования режимов орошения // Вестник с.-х. науки. – № 10. – М.: Колос, 1981. – С. 125–131.
48. Палюлис В. Исследование эффективности различных способов защиты дрен от заиления в пылеватых грунтах // Материалы сокращенных докладов XII науч. конф. ЛитНИИГиМ (18 марта 1971 г.). – Вильнюс, 1971. – С. 45–49.
49. Панадиади А. Д. Расчет водного режима корнеобитаемого слоя осушительных систем // Увлажнение осушенных земель. – М.: Колос, 1974. – С. 96–110.
50. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Рычко В. А. Дренаж с волокнистыми фильтрами. – Киев: Наук. думка, 1950. – 213 с.
51. Писецкий Г. А., Брусиловский Ш. И. Расчет неустановившейся фильтрации воды к дренам с учетом динамики фильтрационных сопротивлений // Научные основы проектирования и строительства гидромелиоративных систем. – Минск: БелНИИМиВХ, 1931. – С. 48–56.
52. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. – М.: Гостехиздат, 1952. – 676 с.
53. Рекомендации по проектированию осушительных систем в Украинской ССР. НТД.33.23.01.022-77. – Киев, 1979. – 411 с.
54. Рекомендации по увлажнению осушаемых земель. – Киев: Урожай, 1965. – 88 с.
55. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Т. I. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 309 с.
56. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Т. II. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 237 с.
57. Розин В. А. Обоснование строительства мелиоративных систем двухстороннего действия на основе анализа вероятности значений водного режима корнеобитаемого слоя почвы за длинные ряды лет // Увлажнение осушаемых земель. – М.: Колос, 1974. – С. 62–82.
58. Свиклис П. Б. Некоторые вопросы методики расчета водного баланса осушаемых площадей // Труды ЛатНИИГиМ. – 1965. – № 4 (11). – С. 3–70.
59. Исследования по дополнительному увлажнению почв в Латвийской ССР / П. Б. Свиклис [и др.] // Увлажнение осушаемых земель. – М.: Колос, 1974. – С. 33–49.
60. Семеринов Е. С. Расчет поправки к показателю фильтрационного сопротивления дрены при обертывании ее защитно-фильтрующим материалом // Моделирование, управление и автоматизация гидромелиоративных систем. – Л., 1979. – С. 31–44.

61. Скрипник О. В. Усовершенствование техники регулирования водного режима торфяных почв в условиях Трубежской поймы // Водное хозяйство. – Киев: Урожай, 1965. – С. 50–60.
62. Стельмах Е. А., Сидоров И. В. Водопотребление многолетних трав в южных районах Нечерноземья // Гидротехника и мелиорация. – 1981. – № 10. – С. 36–41.
63. Томберг У. Х. Вопросы двустороннего регулирования водного режима почв в Эстонии // Увлажнение осушаемых земель. – М.: Колос, 1974. – С. 110–121.
64. Турбин В. Н. Двустороннее регулирование водного режима почв. – М.: Россельхозиздат, 1977. – 72 с.
65. Турбин В. Н. Регулирование водного режима осушаемых мелиорированных почв системой двустороннего действия // Увлажнение осушаемых земель. – М.: Колос, 1974. – С. 82–96.
66. Черенков А. В. Обоснование технологии подпочвенного увлажнения с учетом влияния конструкций и параметров закрытого дренажа и проводящей сети каналов в дерновых и дерново-подзолистых почвах Западного Полесья УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / УкрНИИГиМ. – Киев, 1983. – 15 с.
67. Холодок Л. А. Расчет расстояний между дренами-увлажнителями (случай неустановившейся фильтрации) // Научные основы проектирования и строительства гидромелиоративных систем. – Минск: БелНИИМиВХ, 1961. – С. 41–48.
68. Циприс Д. Б., Саноян М. Г. Двустороннее регулирование водного режима. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 183 с.
69. Шебеко В. Ф., Закрежевский П. И., Брагилевская Э. А. Гидрологические расчеты при проектировании осушительных и осушительно-увлажнительных систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 310 с.
70. Шкиннис Ц. Н. Проблемы гидрологии дренажа. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 347 с.
71. Вопросы дополнительного увлажнения почв в условиях Латвийской ССР / Ц. Н. Шкиннис [и др.]. – Т. 13. – Елгава, 1969. – С. 3–39.
72. Эггельсман Р. Руководство по дренажу. – М.: Колос, 1978. – 254 с.
73. Энно Ю. А. Увлажнение песчаных почв путем подпочвенного орошения в Эстонской ССР // Эксплуатация мелиоративных систем в зоне избыточного увлажнения. – Минск: БелНИИМиВХ, 1974. – С. 83–92.
74. Юшкаускас Ю. Исследование шлюзования и дождевания культурных лугов на осушенной аллювиально-болотной почве // Экспресс-информация ЦБНТИ Минводохоза СССР. – Сер. 2. – Вып. 1. – М., 1971. – С. 11–16.
75. Янголь А. М. Увлажнение осушаемых земель Украинского Полесья // Проблемы мелиорации Полесья. – Ч. 1. – Минск, 1971.

Глава 15. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ И ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЗОНЕ ПОЛЕСЬЯ

15.1. Современное состояние осушительных и осушительно-увлажнительных систем в зоне Полесья

Осушенные земли в Украине составляют 3,3 млн гектаров. Основные площади осушенных земель находятся на Полесье и в западном регионе Украины и насчитывают 62 % мелиоративного фонда. После проведения мелиорации они стали основой высокопроизводительного земледелия и укрепления экономики хозяйств. Однако после реформирования аграрного сектора на значительной площади осушаемых земель Полесья не достигнуто проектной урожайности прошлых лет. Такое состояние использования осушаемых земель является следствием выхода из строя осушительных систем и вторичного заболачивания, а в отдельных случаях – переосушения земель.

На осушаемых землях двустороннее регулирование водного режима осуществляется только на 50 % площадей. На осушенных землях не проводились крайне необходимые агро-мелиоративные меры. Анализ данных управлений водного хозяйства зоны Полесья свидетельствует об ухудшении технического состояния инженерной инфраструктуры. Почти на 70 % площадей мелиоративные системы имеют закрытый дренаж. Свыше 20 % мелиоративных каналов заросли кустарниками и заилились. Техническое состояние внутрихозяйственных осушительных систем через убыточную деятельность большинства сельхозпроизводителей приводит к несостоятельности выполнения ими своей основной функции – отведения избыточных вод, а их разрушение создает экологическую и техногенную опасность. Во время паводков увеличиваются зоны и сроки затопления сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов. Через неудовлетворительное техническое состояние мелиоративной сети в засушливые годы не на всей площади используются по назначению системы двустороннего действия. Лишь на 29,6 % осушаемые земли Полесья есть благоприятный мелиоративный режим, на 56,6 % – удовлетворительный, на 13,8 % – неудовлетворительный [1, 2], что соответственно требует их реконструкции.

Осушительные и осушительно-увлажнительные системы бывают открытыми и закрытыми. Осушительно-увлажнительные системы, в отличие от осушительных, полнее оптимизируют условия выращивания сельскохозяйственных культур. Они позволяют одновременно регулировать несколько факторов, например влагу, воздух, питательные вещества. Открытая осушительно-увлажнительная система включает в себя: сеть открытых каналов, которые позволяют регулировать водный режим территории, транспортирующие собиратели-увлажнители и регулирующие гидротехнические сооружения. Увлажнение корнесодержащего слоя почвы на открытых осушительно-увлажнительных системах осуществляется путем регулирования уровня грунтовых вод при условии высокой водопроницаемости почвы (коэффициент фильтрации $k_f \geq 1$ м/сутки), что характерно для зоны Полесья.

Более совершенными в сравнении с открытыми осушительно-увлажнительными системами, являются закрытые осушительно-увлажнительные системы. Осушительно-увлажнительные системы с материальным дренажом эффективны на территориях с высокой водопроницаемостью почвы и подстилающих горизонтов (коэффициент фильтрации $k_f \geq 0,5-1$ м/сутки). Необходимое поднятие уровня грунтовых вод и обеспечения растений влагой можно осуществить за 3–6 суток. Коллекторы осушительно-увлажнительных систем необходимо рассчитывать исходя из условий их работы на осушение и увлажнение.

Таким образом, гидравлическая работоспособность открытых осушительно-увлажнительных систем в значительной степени зависит от нормального функционирования открытых каналов и водорегулирующих сооружений на них. Надежное функционирование закрытых осушительно-увлажнительных систем обеспечивается гидравлической работоспособностью закрытого дренажа, сбросными и ограждающими систему каналами, водорегулирующими гидротехническими сооружениями. Поскольку отказы отдельных гидротехнических сооружений (кроме главных шлюзов) это локальные явления, то долговременное качественное функционирование закрытых осушительно-увлажнительных систем, в основном, зависит от гидравлической работоспособности закрытого дренажа и каналов на системе.

15.2. Методы оценки параметров водопроводящей сети как вероятностных величин

В данное время проектирование объектов гидромелиоративных систем базируется на детерминистических зависимостях. Значительная часть этих зависимостей достаточно успешно используется

в практике. При этом определяющий параметр V , который характеризует работоспособность системы, часто является функцией нескольких аргументов X_i , то есть имеем функцию [3, 4, 5]

$$V = F(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (15.1)$$

Нередко природа аргументов X_1, X_2, \dots, X_n такая, что они являются не детерминистическими, а случайными величинами. В этом случае значения функции также являются случайными величинами, которые имеют соответствующую вероятность.

Очевидно, что получение определяющего параметра V с определенной вероятностью дает соответствующую гарантию неперевышения, тогда как детерминистические параметры и методы их расчетов такой гарантии не дают.

Если детерминистические зависимости построены на базе достаточного количества опытных данных, то значение функции при соответствующих значениях аргументов будет равняться математической надежде

$$m_V = F(m_{X_1}, m_{X_2}, \dots, m_{X_n}). \quad (15.2)$$

Аналитические детерминистические зависимости можно использовать для оценок средних квадратичных отклонений функции.

В подавляющем большинстве случаев функция (15.1) нелинейна. Однако в узком диапазоне изменения своих аргументов нелинейные функции можно приближенно заменить линейными. Для этого используют метод линеаризации функции [6].

При определении дисперсии и среднего квадратичного отклонения функции (15.1) в теории вероятностей функцию (15.1) линеаризуют в окрестности точки $(m_{X_1}, m_{X_2}, \dots, m_{X_n})$, то есть в окрестности значения функции, которое она приобретает при математических надеждах ее аргументов.

В этом случае значения дисперсии и среднего квадратичного отклонения функции определяются за формулами:

$$D_V = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{X_i} + 2 \sum_{i=j}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)_m \cdot k_{ij}, \quad (15.3)$$

$$\sigma_V^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \sigma_{X_i} \right)_m^2 + 2 \sum_{i=j}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)_m \cdot r_{ij} \cdot \sigma_{X_i} \cdot \sigma_{X_j}, \quad (15.4)$$

где k_{ij} – корреляционные моменты аргументов X_i, X_j ;

D_{X_i} – дисперсии аргументов X_1, X_2, \dots, X_n ;

r_{ij} – коэффициент корреляции величин X_i, X_j .

Если величины X_1, X_2, \dots, X_n не коррелируемые, то дисперсия и среднее квадратичное отклонение функции равняются:

$$D_V = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{X_i}, \quad (15.5)$$

$$\sigma_V^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m^2 \sigma_{X_i}^2. \quad (15.6)$$

Частные производные в зависимостях (15.3), (15.4) с индексом m значат, что их значения вычисляют при $x_i = m_i$. Выражения для определения частных производных получают дифференцированием аналитической детерминистической зависимости функции (15.2).

Для оценки достоверности (надежности) значений функции нужно иметь не только ее числовые характеристики (математическую надежду, дисперсию, среднее квадратичное отклонение), но и закон распределения функции.

Во многих случаях на значение аргументов влияет большое количество факторов, в результате чего распределение аргументов близко к нормальному. Поэтому и функция имеет нормальное распределение с параметрами m_V, σ_V , которые определяются по формулам (15.2)–(15.6) [3, 6].

В этом случае для определения функции с заданной вероятностью можно использовать понятие квантиля или доверительные интервалы [6]

$$P(Y < Y_p) = P_U, \quad (15.7)$$

$$I_{Y, \beta} = (m_V - t_\beta \sigma_V; m_V + t_\beta \sigma_V), \quad (15.8)$$

где Y – такое значение случайной величины V , для которой условие $Y < Y_p$ выполняется с вероятностью $P_U, t_\beta = f(\beta)$;

β – вероятность доверия, с которой случайная величина Y накрывается интервалом (15.8).

Для нормального распределения функции Y получено

$$P\left(\frac{Y - m_Y}{\sigma_Y} \leq U_P\right) = P_U, \quad (15.9)$$

где U_P – квантиль вероятности P_U , который равняется количеству средних квадратичных отклонений σ_Y случайной величины Y , которые нужно отложить вправо от ее среднего значения $\bar{y} = m_Y$.

В практических расчетах для определения оценок можно использовать опытные данные, соответствующие аналитические зависимости или поле нормативных допусков [3, 4, 6]. Например, если

$$x = \bar{x} \pm \Delta x, \quad (15.10)$$

то согласно правилу «трех сигм» приближенно получим

$$\sigma_x = \frac{1}{3} \Delta x. \quad (15.11)$$

Используя допустимый или желательный уровень надежности сооружения, можно определить величину определяющего (главного) параметра сооружения. Например, для уровней надежности $P = P_U = 0,95$ и $P = P_U = 0,99$ соответственно имеем $U_P = 1,645$ и $U_P = 2,326$. Тогда получаем:

$$\left. \begin{aligned} Y_{0,95} &= m_Y + U_P \sigma_Y = m_Y + 1,645 \sigma_Y \\ Y_{0,99} &= m_Y + U_P \sigma_Y = m_Y + 2,326 \sigma_Y \end{aligned} \right\}, \quad (15.12)$$

Вероятность того, что сооружение с определяющим параметром не выполняет своих функций, равняется

$$R_Y = 1 - P_U = \frac{1 - \beta}{2}, \quad (15.13)$$

β – вероятность доверия, с которой определяющий параметр Y накрывается интервалом (15.8).

15.3. Вероятностная оценка пропускной способности каналов

С использованием формул (15.1)–(15.13) составлены зависимости для определения вероятностных отклонений пропускной способности каналов гидромелиоративных систем.

Пропускную способность каналов при равномерном движении определяют по формуле Шези

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (15.14)$$

отсюда видно, что $Q = f(\omega, C, R, i)$. Следовательно,

$$\sigma_Q^2 = \left(\frac{\partial Q}{\partial \omega} \sigma_\omega\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C} \sigma_C\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial R} \sigma_R\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial i} \sigma_i\right)^2, \quad (15.15)$$

где частные производные равняются:

$$\frac{\partial Q}{\partial \omega} = \frac{Q}{\omega}, \quad \frac{\partial Q}{\partial C} = \frac{Q}{C}, \quad \frac{\partial Q}{\partial R} = \frac{Q}{2R}, \quad \frac{\partial Q}{\partial i} = \frac{Q}{2i}, \quad (15.16)$$

Для определения величин σ_ω, σ_R и σ_C использованы аналитические зависимости для соответствующих форм поперечного сечения каналов.

Трапецидальное русло:

площадь живого сечения

$$\omega = bh + mh^2, \quad (15.17)$$

смоченный периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \quad (15.18)$$

гидравлический радиус

$$R = \frac{bh + mh^2}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}, \quad (15.19)$$

Используя (15.6), (15.17)–(15.19), получим:

$$\sigma_\omega^2 = \left(\frac{\partial \omega}{\partial b} \sigma_b\right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial h} \sigma_h\right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial m} \sigma_m\right)^2, \quad (15.20)$$

где

$$\frac{\partial \omega}{\partial b} = h ; \quad \frac{\partial \omega}{\partial h} = b + 2mh ; \quad \frac{\partial \omega}{\partial m} = h^2 \quad (15.21)$$

$$\sigma_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial b} \sigma_b \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial m} \sigma_m \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial h} \sigma_h \right)^2, \quad (15.22)$$

где

$$\frac{\partial R}{\partial b} = \frac{h\chi - \omega}{\chi^2} ; \quad \frac{\partial R}{\partial h} = \frac{(b + 2mh)\chi - 2\omega\sqrt{1+m^2}}{\chi^2} ; \quad \frac{\partial R}{\partial m} = \frac{\chi h^2 - 2\omega mh(1+m^2)^{-1/2}}{\chi^2}. \quad (15.23)$$

Для определения среднего квадратичного отклонения коэффициента Шези использованы формулы (2.6), (2.23) и формулу Маннинга:

$$C = \frac{I}{n} R^{1/6}, \quad (15.24)$$

$$\sigma_C^2 = \left(\frac{\partial C}{\partial n} \sigma_n \right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial R} \sigma_R \right)^2, \quad (15.25)$$

где

$$\frac{\partial C}{\partial n} = -\frac{R^{1/6}}{n^2} ; \quad \frac{\partial C}{\partial R} = \frac{R^{-5/6}}{6n}. \quad (15.26)$$

Параболическое русло с горизонтальной вставкой:

$$\omega = \frac{4}{3} \sqrt{2ph^3 + bh}, \quad (15.27)$$

$$\chi = b + p \left[\sqrt{2 \frac{h}{p} \left(1 + 2 \frac{h}{p} \right)} + \ln \left(\sqrt{2 \frac{h}{p}} + \sqrt{1 + 2 \frac{h}{p}} \right) \right], \quad (15.28)$$

где p – параметр параболы; b – ширина горизонтальной вставки (ширина дна русла).

Используя зависимости (15.6), (15.25), (15.27), (15.28), получено:

$$\sigma_\omega^2 = \left(\frac{\partial \omega}{\partial h} \sigma_h \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial b} \sigma_b \right)^2, \quad (15.29)$$

где

$$\frac{\partial \omega}{\partial h} = 2\sqrt{2ph} + b ; \quad (15.30)$$

$$\sigma_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial h} \sigma_h \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial b} \sigma_b \right)^2, \quad (15.31)$$

где

$$\frac{\partial R}{\partial h} = \frac{\omega' \chi - \chi' \omega}{\chi^2}, \quad (15.32)$$

$$\chi' = \frac{\partial \chi}{\partial h} = \frac{2 + 4 \frac{h}{p}}{\sqrt{2 \frac{h}{p} + 4 \frac{h^2}{p^2}}}, \quad (15.33)$$

$\omega' = \partial \omega / \partial h$ – определяется по формуле (15.29);

$$\frac{\partial R}{\partial b} = \frac{\left(\frac{\partial \omega}{\partial b} \right) \chi - \omega \left(\frac{\partial \chi}{\partial b} \right)}{\chi^2}, \quad (15.34)$$

где

$$\frac{\partial \omega}{\partial b} = h ; \quad \frac{\partial \chi}{\partial b} = 1. \quad (15.35)$$

Используя зависимости (15.1)–(15.35), можно построить график $Q = f(h)$, схема которого изображена на рисунке 15.1.

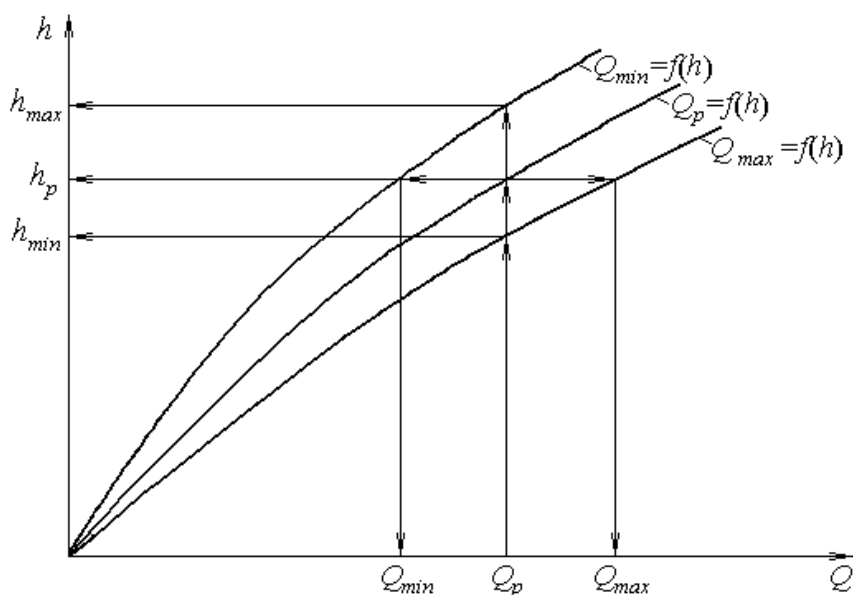


Рис. 15.1. Схема графиков $Q_{min} = f(h)$, $Q_p = f(h)$, $Q_{max} = f(h)$

На рисунке 15.1. $Q_{min} = Q_p - t_\beta \sigma_Q$; $Q_{max} = Q_p + t_\beta \sigma_Q$; Q_p – расчетные расходы; h_p – расчетные глубины. Согласно приведенному графику можно определить возможные вероятные пределы изменения глубин воды в канале при пропускании расчетных расходов. Действительные глубины воды в канале h могут быть $h > h_p$.

Для обеспечения пропускания расчетного расхода $Q_{p,max}$ в пределах русла нужно, чтобы глубина канала была

$$H > h_{max}, \quad (15.36)$$

где h_{max} – максимальная вероятностная глубина воды в канале, которая отвечает расходу $Q_{p,max}$.

Вероятность того, что канал не пропустит расход

$$Q > Q_p + t_\beta \cdot \sigma_Q, \quad (15.37)$$

определено по формуле

$$R_Q = (1 - \beta) / 2. \quad (15.38)$$

Чем большая доверительная вероятность β (более широкий доверительный интервал) тем меньшая вероятность R_Q . Например при $\beta = 0,9$ имеем $R_Q = 0,05$.

Рассмотрим пример расчета трапецеидального канала.

Пример 1.

Трапецеидальный канал осушительной системы рассчитан на пропуск максимального расхода $Q = 13 \text{ м}^3/\text{с}$.

Параметры канала: ширина дна $b = 4 \text{ м}$; коэффициент закладывания уклонов $m = 2$; коэффициент шероховатости в летний период $n = 0,033$, в весенний $n = 0,025$; строительная глубина канала $H = 2,9 \text{ м}$; уклон дна $i = 0,0002$.

С вероятностью $\beta = 0,90$ определить верхние и нижние пределы расходов в канале, если согласно норм [3, 7] допуски на параметры канала такие: отклонения ширины дна $\Delta b = \pm 0,10 \text{ м}$; отклонение уклона дна $\Delta i = 15\%i$; отклонение крутизны уклонов $\Delta m = 15\%m$; отклонение отметок дна $\Delta H = -0,2 \text{ м}$.

Решение.

Для определения величин использованы нормативные допуски и формула (15.10) :

$$\sigma_b = \frac{1}{3} \cdot 0,1 = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad \sigma_H = \frac{1}{3} \cdot 0,02 = 6,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\sigma_m = \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot m = \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot 3 = 0,15; \quad \sigma_i = \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot i = \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot 0,0002 = 1 \cdot 10^{-5}$$

Результаты расчетов при $n = 0,025$ приведены в таблицах 15.1; 15.2, а при $n = 0,033$ – в таблицах 15.3; 15.4.

Расчеты пропускной способности каналов параболической формы с горизонтальной вставкой показали, что при одинаковых коэффициентах шероховатости и одинаковой вероятности доверия, отклонения расходов равняется 10...12 % от расчетных расходов.

Таблица 15.1

Значение расходов Q и средних квадратичных отклонений расходов σ_Q с вероятностью доверия $\beta = 0,90$ для трапецидального канала при $n=0,025$

$h, \text{м}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial \omega} \sigma_\omega\right)^2$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial C} \sigma_C\right)^2$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \sigma_R\right)^2$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial i} \sigma_i\right)^2$	$\sigma_Q, \text{м}^3/\text{с}$
1,0	2,64	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,44 \cdot 10^{-2}$	$8,92 \cdot 10^{-5}$	$4,35 \cdot 10^{-3}$	0,12
1,5	5,85	$1,79 \cdot 10^{-2}$	0,115	$2,44 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-2}$	0,40
2,0	10,5	$7,38 \cdot 10^{-2}$	0,365	$6,92 \cdot 10^{-4}$	$6,91 \cdot 10^{-2}$	0,71
2,22	13,0	0,121	0,554	$5,60 \cdot 10^{-4}$	0,105	0,88

Таблица 15.2

Значение расходов Q_p ; Q_{min} ; Q_{max} и отклонений расходов δQ от Q_p при $n = 0,025$ с вероятностью доверия $\beta = 0,90$

$h, \text{м}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\delta Q, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{min}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{max}, \text{м}^3/\text{с}$	$\delta Q, \%$	P_U
1,0	2,64	2,35	2,35	2,93	11,0	0,95
1,5	5,85	5,20	5,20	6,50	11,0	
2,0	10,52	9,35	9,35	11,70	11,1	
2,22	13,00	11,54	11,54	14,46	11,2	

Таблица 15.3

Значение расходов Q и средних квадратичных отклонений расходов σ_Q с вероятностью доверия $\beta = 0,90$ для трапецидального канала при $n = 0,033$

$h, \text{м}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial \omega} \sigma_\omega\right)^2$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial C} \sigma_C\right)^2$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \sigma_R\right)^2$	$\left(\frac{\partial Q}{\partial i} \sigma_i\right)^2$	$\sigma_Q, \text{м}^3/\text{с}$
1,0	1,97	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$8,06 \cdot 10^{-3}$	$4,99 \cdot 10^{-5}$	$2,44 \cdot 10^{-3}$	0,11
1,5	4,43	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$3,81 \cdot 10^{-2}$	$1,40 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-2}$	0,25
2,0	8,08	$4,30 \cdot 10^{-2}$	0,124	$2,71 \cdot 10^{-4}$	$4,03 \cdot 10^{-2}$	0,45
2,50	13,0	0,121	0,308	$4,17 \cdot 10^{-4}$	0,1056	0,74

Таблица 15.4

Значение расходов Q_p ; Q_{min} ; Q_{max} и отклонений расходов δQ от Q_p при $n = 0,033$ с вероятностью доверия $\beta = 0,90$

$h, \text{м}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\delta Q, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{min}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{max}, \text{м}^3/\text{с}$	$\delta Q, \%$	P_U
1,0	1,975	0,18	1,79	2,16	9,1	0,95
1,5	4,43	0,40	4,03	4,84	9,1	
2,0	8,08	0,74	7,29	8,77	9,2	
2,50	13,00	1,22	11,78	14,22	9,4	

По данным таблиц 15.1–15.4 построены графики: 1 – $Q = f(h)$; 2 – $Q_{min} = f(\beta; h)$; 3 – $Q_{max} = f(\beta; h)$ (рис. 15.2, 15.3).

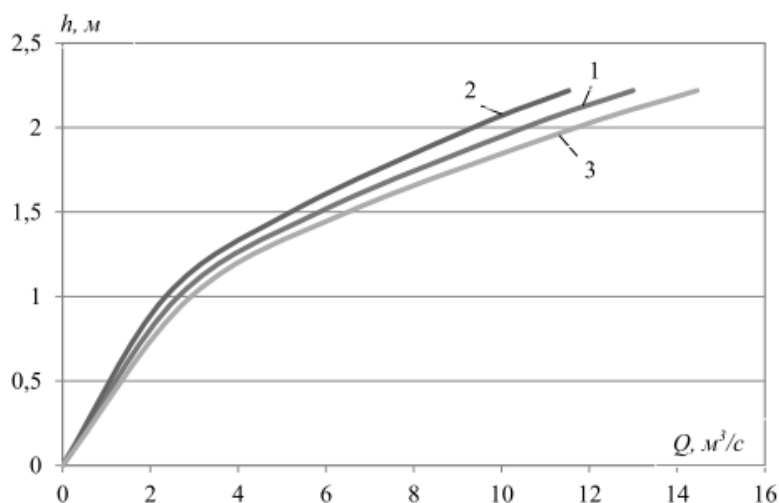


Рис. 15.2. Графики: 1 – $Q = f(h)$; 2 – $Q_{min} = f(\beta; h)$; 3 – $Q_{max} = f(\beta; h)$ трапецидального канала при $n = 0,025$

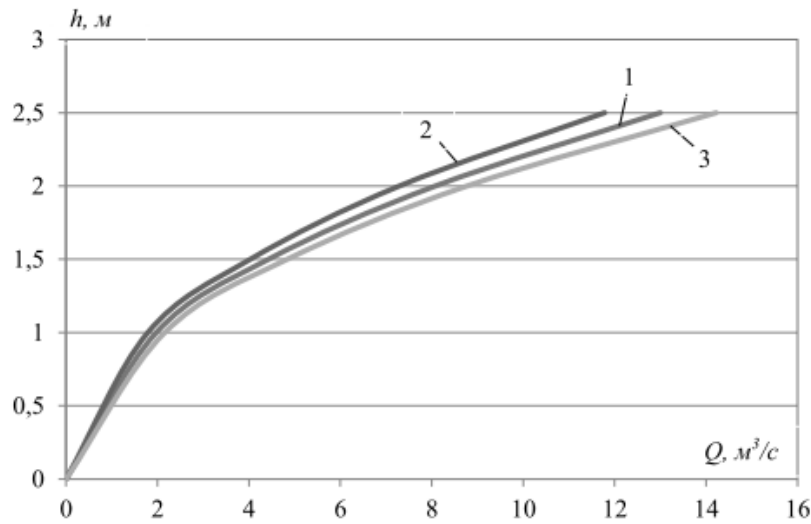


Рис. 15.3. Графики: 1 – $Q = f(h)$; 2 – $Q_{\min} = f(\beta; h)$; 3 – $Q_{\max} = f(\beta; h)$ трапециевидального канала при $n = 0,033$

Таким образом оставляющая $\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \sigma_R\right)^2$ в уравнении (15.15) практически не влияет на величину σ_Q . При благоприятном влиянии всех рассмотренных факторов пропускная способность канала с вероятностью $P_U = 0,95$ может быть на 9...11 % больше, чем расчетная, а при неблагоприятном совпадении факторов она может быть с вероятностью $\beta = 0,90$ на 9...11 % меньше, чем расчетная.

Если выход воды за пределы русла канала недопустимый, то глубину канала нужно увеличить. При этом глубину воды в канале можно определить из графика $Q = Q_{\min} = f_1(h; \beta)$.

Вероятность того, что запроектированное русло канала способно пропустить расход $Q > Q_{\min}$, нормальном распределении случайных величин, равняется R_Q .

15.4. Вероятностная оценка расстояний между дренами осушительно-увлажнительных систем

С использованием зависимостей (15.1)–(15.13) были определены вероятные пределы расстояний между дренами в однородных почвах при атмосферном и грунтовом водном питании. Для этого использована зависимость, которая рекомендуется нормами [7] для случая, когда расстояние от оси дрены к водоупору $T_D \leq B/4$, где B – расстояние между дренами, которое определяется за формулой

$$B = 4 \left(\sqrt{\Phi^2 + \frac{HT}{2q}} - \Phi_0 \right), \quad (15.39)$$

где Φ – общие фильтрационные сопротивления

$$\Phi = \frac{T_D}{\pi} \ln \left(\frac{2T_D}{\pi D} \right) + \frac{2h_0}{\pi} \ln \frac{4h_0}{\pi D} + \frac{T_D \Phi_0}{\pi} + \frac{2h_0}{\pi} \Phi_0, \quad (15.40)$$

где D – внешний диаметр дрены, м;

Φ_0 – фильтрационные сопротивления по характеру раскрытия водоносного пласта;

H – расчетный напор, м;

T – проводимость пласта, $\text{м}^2/\text{сутки}$;

q – интенсивность инфильтрационного питания, $\text{м}/\text{сутки}$.

Схема для расчета расстояний между дренами изображена на рис. 15.4. В начале расчетного периода уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью почвы.

Параметры H , T , q та h_0 , что входят в зависимости (2.39), (2.40) для режима осушения и режима увлажнения определяются за разными зависимостями.

Режим осушения:

$$H = H_D - 0,6a, \quad (15.41)$$

$$T = k_\Phi(h_0 + T_D), \quad (15.42)$$

$$h_0 = 0,5H; \quad (15.43)$$

$$q = \frac{W}{t}, \quad (15.44)$$

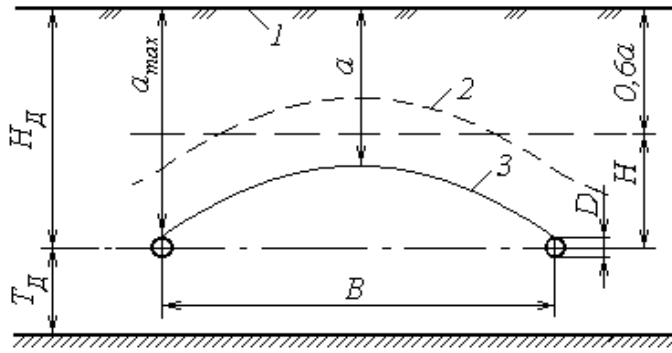


Рис. 15.4. Схема к расчету расстояний между дренами:
1, 2, 3 – уровни грунтовых вод

В зависимостях (15.41)–(15.44) имеем:

H_D – глубина от поверхности почвы к оси дрены, м;

a – норма осушения, м;

k_ϕ – коэффициент фильтрации, м/сутки;

W – слой воды, м, который надо отвести из почвы в течение времени t , суток, определяется по формуле

$$W = h_s + z + E + \mu a, \quad (15.45)$$

где h_s – слой воды, который остался на поверхности после схода весенних или ливневых вод, м;

z – слой осадков за расчетный период, м;

E – слой испарения за расчетный период, м;

μ – коэффициент водоотдачи, который в данной работе определен по формуле [8]

$$\mu = 0,056 \sqrt{k_\phi a}^{1/3}, \quad (15.46)$$

где a – норма осушения, м; k_ϕ – коэффициент фильтрации, м/сутки.

Для дальнейших расчетов и анализа принимаем: $h_s = 0$; $z = E$. Тогда

$$q = \frac{\mu a}{t}. \quad (15.47)$$

Учитывая выражения (15.41)–(15.47), зависимости (15.39) и (15.40) можно записать в виде:

$$B = 4 \left(\sqrt{\Phi^2 + \frac{k_\phi^{1/2} t [0,5 (H_D - 0,6a) + T_D] (H_D - 0,6a)}{0,112 a^{4/3}}} - \Phi \right), \quad (15.48)$$

$$\Phi = \frac{T_D}{\pi} \ln \left(\frac{2T_D}{\pi D} \right) + \frac{2(H_D - 0,6a)}{\pi} \ln \left(\frac{2(H_D - 0,6a)}{\pi D} \right) + \frac{T_D \Phi_0}{\pi} + \frac{(H_D - 0,6a)}{\pi} \Phi_0, \quad (15.49)$$

Анализируя связи между параметрами формул (15.48) и (15.49), видно, что

$$B = f(H_D; T_D; k_\phi; a; \Phi_0; t; D), \quad (15.50)$$

где параметры t , D для каждого конкретного случая задаются как постоянные величины. Остальные параметры функции (15.50) по своей природе принадлежат к случайным величинам, то есть имеют свою вариацию на площади системы.

Учитывая формулу (15.6) и функциональную зависимость (15.50), среднее квадратичное значение расстояний между дренами равняется

$$\sigma_B = \left(\frac{\partial B}{\partial H_D} \sigma_{H_D} \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial k_\phi} \sigma_{k_\phi} \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial T_D} \sigma_{T_D} \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial a} \sigma_a \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial \Phi_0} \sigma_{\Phi_0} \right)^2. \quad (15.48)$$

Для определения частных производных, которые входят в формулу (15.48), использованы зависимости (15.48) и (15.49). Тогда получено:

$$\frac{\partial B}{\partial H_D} = \frac{8}{\pi} \left(\ln \frac{H}{\pi D} + \frac{\Phi_0}{2} + 1 \right) \left(\frac{\Phi}{\sqrt{N}} - 1 \right) + \frac{2}{\sqrt{N}} \cdot \frac{k_\phi^{1/2} t (H + T_D)}{0,112 a^{4/3}}; \quad (15.49)$$

$$\frac{\partial B}{\partial k_\phi} = \frac{2}{\sqrt{N}} \cdot \frac{t (0,5H + T_D) H}{\sqrt{k_\phi} 0,224 a^{4/3}}; \quad (15.50)$$

$$\frac{\partial B}{\partial T_D} = \frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{2T_D}{\pi D} + \Phi_0 + 1 \right) \left(\frac{\Phi}{\sqrt{N}} - 1 \right) + \frac{2}{\sqrt{N}} \cdot \frac{k_\Phi^{1/2} t H}{0,112a^{4/3}} ; \quad (15.51)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial a} = & \frac{4,8}{\pi} \left(\ln \frac{2H}{\pi D} + \frac{\Phi_0}{2} + 1 \right) \left(1 - \frac{\Phi}{\sqrt{N}} \right) - \\ & - \frac{2}{\sqrt{N}} \cdot \frac{k_\Phi^{1/2} t \left[0,6(H + T_D) a + \frac{4}{3}(0,5H^2 + HT_D) \right]}{0,112a^{7/3}} ; \end{aligned} \quad (15.52)$$

$$\frac{\partial B}{\partial \Phi_0} = \frac{4}{\pi} (T_D + H) \left(\frac{\Phi}{\sqrt{N}} - 1 \right). \quad (15.53)$$

В формулах (15.49)–(15.53) N – параметр, который равняется

$$N = \Phi^2 + \frac{k_\Phi^{1/2} t \left[0,5(H_D - 0,6a) + T_D \right] (H_D - 0,6a)}{0,112a^{4/3}}. \quad (15.54)$$

Для определения величины σ_B воспользуемся нормативными допусками [7, 8] и исследованиями об изменении коэффициентов фильтрации в придренной зоне [9].

Пример 2.

Глубина закладки дрены $H_D = 1$ м; расстояние от оси дрены к водоупору $T_D = 2; 4$ м; норма осушения $a = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ м; длительность снижения уровня грунтовых вод $t = 2; 4$ суток; коэффициент фильтрации $k_\Phi = 0,5; 1,0$ м/сутки. Дрены из гончарных труб, внешний диаметр которых $D = 0,055$ м. Фильтрационные сопротивления $\Phi_0 = 1$.

Решение.

В соответствии с зависимостью (15.11) максимальное отклонение случайной величины от ее среднего значения можно записать так:

$$\Delta x = 3\sigma_x = 3 V_x \bar{x}, \quad (15.55)$$

где V_x – коэффициент вариации случайной величины X .

Учитывая рекомендации [5, 7], для расчетов примем: $\Delta a_{max} = 0,1$ м; $\Delta k_{\Phi max} = 0,1$ м; $\Delta T_{D max} = 0,15T_D$; $V_{k\Phi} = 0,0333$; $V_{T_D} = 0,05$; $V_{H_D} = 0,015$; $V_{\Phi_0} = 0,05$.

Соответственно: $\sigma_a = 0,0333$; $\sigma_{k\Phi} = 0,0333k_\Phi$; $\sigma_{T_D} = 0,05T_D$; $\sigma_{H_D} = 0,015$; $\sigma_{\Phi_0} = 0,05\Phi_0$.

Результаты расчетов величины σ_B и B приведены в таблицах 15.5–15.6, где ряд промежуточных расчетных величин обозначен таким образом:

$$\begin{aligned} \Pi_H = & \left(\frac{\partial B}{\partial H_D} \sigma_{H_D} \right)^2 ; \quad \Pi_k = \left(\frac{\partial B}{\partial k_\Phi} \sigma_{k_\Phi} \right)^2 ; \quad \Pi_T = \left(\frac{\partial B}{\partial T_D} \sigma_{T_D} \right)^2 ; \\ \Pi_a = & \left(\frac{\partial B}{\partial a} \sigma_a \right)^2 ; \quad \Pi_{\Phi_0} = \left(\frac{\partial B}{\partial \Phi_0} \sigma_{\Phi_0} \right)^2 . \end{aligned} \quad (15.56)$$

В таблицах 15.5, 15.6 приведены результаты расчетов только для $T_D = 2$ м и $t = 2$ суток.

Параметры Π_i в таблице 15.5 представлены в процентах от σ_B^2 .

Таблица 15.5

Значения B та σ_B при $H_D = 1$ м; $T_D = 2$ м и $t = 2$ суток

k_Φ , м/сутки	a , м	Π_H , %	Π_k , %	Π_T , %	Π_a , %	Π_{Φ_0} , %	σ_B^2 , м ²	σ_B , м	B , м
0,5	0,5	1,63	2,01	1,67	94,31	0,37	2,27	1,50	17,50
	0,6	2,05	2,53	1,46	93,41	0,56	2,00	1,09	13,78
	0,7	2,39	2,95	1,12	92,80	0,75	0,70	0,83	11,01
	0,8	2,62	3,23	0,73	92,49	0,92	0,43	0,66	8,87
1,0	0,5	0,41	2,00	2,27	95,01	0,31	3,44	1,85	22,44
	0,6	0,51	2,52	2,12	94,39	0,46	1,84	1,36	17,81
	0,7	0,60	2,95	1,76	94,06	0,63	1,09	1,04	14,35
	0,8	0,66	3,24	1,29	94,02	0,80	0,69	0,83	11,65

Из таблицы 15.5 видно, что влияние нормы осушения на величину σ_B^2 достигает 90...95 %.

Анализируя величины B при разных коэффициентах фильтрации, одинаковых нормах осушения, одинаковых значениях t и T_D , видим, что с увеличением коэффициента фильтрации в два раза (от 0,5 до 1 м/сутки) расстояние между дренами при нормах осушения $a = 0,5...0,8$ м увеличивается всего в 1,28...1,31 раза. Это имеет важное практическое значение, потому что коэффициент фильтрации почв дренажных систем существенно изменяется по площади. Кроме этого, в последних исследованиях [9] доказано, что коэффициент фильтрации в придренной зоне имеет разные значения для режима осушения и режима увлажнения.

Таблица 15.6

Пределы доверительного интервала для расстояний между дренами B при вероятности доверия $\beta = 0,90$; $T_D = 2$ м и $t = 2$ суток

k_ϕ , м/сутки	a , м	B , м	σ_B , м	$\Delta B = t\beta\sigma_B$, м	B_{min} , м	B_{max} , м	$\frac{\Delta B}{B} \cdot 100\%$
0,5	0,5	17,50	1,50	2,48	15,03	19,98	14,15
	0,6	13,78	1,09	1,80	11,98	15,58	13,07
	0,7	11,01	0,83	1,37	9,64	12,38	12,47
	0,8	8,87	0,66	1,09	7,78	9,96	12,23
1,0	0,5	22,44	1,85	3,05	19,39	25,49	13,59
	0,6	17,81	1,36	2,23	15,58	20,04	12,54
	0,7	14,35	1,04	1,71	12,64	16,06	11,95
	0,8	11,65	0,83	1,36	10,28	13,01	11,72

Сравнивая средние значения расстояний B , вычисленных по формуле (15.48) с пределами доверительных интервалов B_{min} и B_{max} , что отвечают доверительной вероятности $\beta = 0,90$ (табл. 15.6), видим, что при нормах осушения $a = 0,5...0,8$ м B_{min} в 1,12...1,16 раза меньше, а B_{max} в 1,12...1,14 раза больше соответствующих значений B , которые вычислены при средних значениях параметров по формуле (15.48).

Аналогичное сравнение при доверительной вероятности $\beta = 0,99$ показывает, что B_{min} в 1,21...1,29 раза меньше, а B_{max} в 1,18...1,22 больше средних значений B .

Режим увлажнения:

$$H = H_0 - 0,4h_1 - 0,6h_2, \quad (15.57)$$

$$T = k_\phi(h_0 + T_D), \quad (15.58)$$

$$h_0 = H_0 - 0,5H, \quad (15.59)$$

$$q = \frac{H_0 + 5(h_2 - h_1)}{6t} \mu + E - z, \quad (15.60)$$

где H_0 – напор воды в дрене, м;

h_1 – расстояние от оси дрены до уровня грунтовых вод перед увлажнением в середине между дренами, м;

h_2 – расстояние от оси дрены до уровня грунтовых вод потом увлажнением в середине между дренами, м;

t – время увлажнения, суток;

μ – коэффициент водоотдачи, значение которого можно определить по формуле [9]

$$\mu = 0,056k_\phi^{1/2} \left(\frac{H_0 + 5(h_2 - h_1)}{6} \right)^{1/3}, \quad (15.61)$$

где k_ϕ – коэффициент фильтрации, м/сутки;

E – слой испарения за расчетный период, м/сутки;

z – слой осадков за расчетный период, м/сутки.

В литературных источниках [5, 8] отмечено, что для увлажнения расстояния между дренами должны быть в 1,1...1,4 раза меньше, чем те, которые нужны для осушения.

С целью проверки этих предположений и определения границ доверительных интервалов расстояний между дренами B используем (15.39), (15.40) и (15.57)–(15.61).

Можно допустить, что расчет значений расстояний между дренами для увлажнения не всегда будет меньше, чем для режима осушения.

Принимая к сведению назначение увлажнительной системы, наиболее целесообразно исходить из следующего. Увлажнение нужно начинать при снижении уровня грунтовых вод в середине между дренами к максимально допустимой величине нормы осушения a_{max} . Увлажнение прекращается

тогда, когда уровень грунтовых вод поднимется к отметке, которая отвечает минимальной норме осушения a_{min} , при этом поверхность грунтовых вод становится приблизительно горизонтальной.

Принимаем, что напор в дрене равняется

$$H_0 = H_D - a_{min}. \quad (15.62)$$

Расстояние от оси дрены до уровня грунтовых вод

$$h_1 = H_D - a_{max} = H_D - (a_{min} + \Delta a); \quad (15.63)$$

$$h_2 = H_0 = H_D - a_{min}. \quad (15.64)$$

Расчетный напор по формулам (15.57), (15.63) и (15.64) представляет:

$$H = 0,4\Delta a. \quad (15.65)$$

Учитывая формулы (15.59), (15.62), (15.65) параметр

$$h_0 = H_D - a_{max} - 0,2\Delta a. \quad (15.66)$$

Используя формулы (15.60)–(15.64), определяем расход

$$q = \frac{0,005136k_\phi^{1/2}}{t} (H_D - 6a_{min} + 5a_{max})^{4/3}. \quad (15.67)$$

В формулах (15.63)–(15.66) Δa – это допустимая нормативная разница между a_{max} и a_{min} . Согласно нормам [7] $\Delta a = 0,2$ м.

Учитывая выражения (15.65)–(15.67), уравнение (15.39) запишем в виде

$$B = 4 \left(\sqrt{\Phi^2 + \frac{t k_\phi^{1/2} 0,4\Delta a (H_D - a_{min} - 0,2\Delta a + T_D)}{0,01028 (H_D - a_{min} + 5\Delta a)^{4/3}}} - \Phi \right), \quad (15.68)$$

где Φ – общее фильтрационное сопротивление

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{T_D}{\pi} \ln \left(\frac{2T_D}{\pi D} \right) + \frac{2}{\pi} (H_D - a_{min} - 0,2\Delta a) \times \\ &\times \ln \left(\frac{4(H_D - a_{min} - 0,2\Delta a)}{\pi D} \right) + \frac{T_D \Phi_0}{\pi} + \frac{2\Phi_0}{\pi} (H_D - a_{min} - 0,2\Delta a). \end{aligned} \quad (15.69)$$

Анализируя зависимости (15.68) и (15.69), видим, что

$$B = f(H_D; T_D; k_\phi; a; \Phi_0; \Delta a; t; D). \quad (15.70)$$

Учитывая геометрическое и физическое содержание параметров Δa ; t и D в зависимости (15.70), их можно принять как постоянные. Тогда среднее квадратичное значение σ_B можно определить по формуле (15.48).

Для определения частных производных использованы зависимости (15.68) и (15.69). Тогда получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial H_D} &= \frac{8}{\pi} \left(\ln \frac{4h_0}{\pi D} + \Phi_0 + 1 \right) \left(\frac{\Phi}{\sqrt{N}} - 1 \right) + \\ &+ \frac{2}{\sqrt{N}} \frac{t k_\phi^{1/2} 0,4\Delta a}{0,01028} \frac{C - \frac{4}{3}(h_0 + T_D)}{C^{7/3}}; \end{aligned} \quad (15.71)$$

$$\frac{\partial B}{\partial T_D} = \frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{2T_D}{\pi D} + \Phi_0 + 1 \right) \left(\frac{\Phi}{\sqrt{N}} - 1 \right) + \frac{2}{\sqrt{N}} \frac{t k_\phi^{1/2} 0,4\Delta a}{0,01028 C^{4/3}}; \quad (15.72)$$

$$\frac{\partial B}{\partial k_\phi} = \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{t 0,4a(h_0 + T_D)}{0,01028 k_\phi^{1/2} C^{4/3}}; \quad (15.73)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial a} &= \frac{8}{\pi} \left(\ln \frac{4h_0}{\pi D} + \Phi_0 + 1 \right) \left(1 - \frac{\Phi}{\sqrt{N}} \right) + \\ &+ \frac{2}{\sqrt{N}} \frac{t k_\phi^{1/2} 0,4\Delta a}{0,01028} \frac{4/3(h_0 + T_D) - C}{C^{7/3}}; \end{aligned} \quad (15.74)$$

$$\frac{\partial B}{\partial \Phi_0} = \frac{4}{\pi} (T_D + 2h_0) \left(\frac{\Phi}{\sqrt{N}} - 1 \right) \quad (15.75)$$

В зависимостях (15.71)–(15.75) получено:

$$N = \Phi^2 + \frac{t k_\phi^{1/2} 0,4\Delta a (H_D - a_{min} - 0,2\Delta a + T_D)}{0,01028 k_\phi^{1/2} (H_D - a_{min} + 5\Delta a)^{4/3}}; \quad (15.76)$$

$$C = H_D - a_{min} + 5\Delta a. \quad (15.77)$$

Пример 3.

Глубина закладки дренажа $H_D = 1$ м; расстояние от оси дренажа к водоупору $T_D = 2; 4$ м; норма осушения $a = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ м; длительность поднятия уровня грунтовых вод $t = 2; 4$ суток; коэффициент фильтрации $k_\phi = 0,5; 1,0$ м/сутки. Дрены из гончарных труб, внешний диаметр которых $D = 0,055$ м. Фильтрационные сопротивления $\Phi_0 = 1$.

Решение.

В соответствии с зависимостями (15.11, 15.55) и рекомендациями [5, 7] максимальное отклонение случайной величины от ее среднего значения для расчетов принимаем: $\Delta a_{max} = 0,1$ м; $\Delta k_{\phi max} = 0,1$ м; $\Delta T_{D max} = 0,15 T_D$; $V_{k\phi} = 0,0333$; $V_{T_D} = 0,05$; $V_{H_D} = 0,015$; $V_{\Phi_0} = 0,05$.

Соответственно: $\sigma_a = 0,0333$; $\sigma_{k\phi} = 0,0333 k_\phi$; $\sigma_{T_D} = 0,05 T_D$; $\sigma_{H_D} = 0,015$; $\sigma_{\Phi_0} = 0,05 \Phi_0$.

Результаты расчетов величины σ_B и B приведены в таблицах 15.7 и 15.8, где ряд промежуточных расчетных величин отвечает обозначением зависимостей (15.56).

В таблицах 15.7 и 15.8 приведены результаты расчетов только для $T_D = 2$ м и $t = 2$ суток.

Параметры Π_i в таблице 15.7 представлены в процентах от σ_B^2 .

Таблица 15.7

Значение B и σ_B при $H_D = 1$ м; $T_D = 2$ м и $t = 2$ суток

k_ϕ , м/сутки	a , м	Π_H , %	Π_k , %	Π_T , %	Π_a , %	Π_Φ , %	σ_B^2 , м ²	σ_B , м	B , м
0,5	0,5	13,25	14,57	0,97	65,38	5,83	0,06	0,24	6,40
	0,6	13,49	13,76	0,91	66,55	5,28	0,07	0,26	7,01
	0,7	13,69	13,09	0,93	67,55	4,74	0,08	0,29	7,69
	0,8	13,84	12,60	1,07	68,27	4,22	0,10	0,32	8,44
1,0	0,5	13,01	15,25	2,10	64,18	5,46	0,09	0,30	8,56
	0,6	13,22	14,45	2,18	65,24	4,90	0,11	0,33	9,32
	0,7	13,40	13,77	2,41	66,09	4,35	0,13	0,36	10,16
	0,8	13,50	13,24	2,86	66,59	3,81	0,15	0,39	11,07

Из таблицы 15.7 видно, что влияние нормы осушения на величину σ_B^2 достигает 60...75 %.

Анализируя величины B при разных коэффициентах фильтрации, одинаковых нормах осушения, одинаковых значениях t и T_D , видим, что с увеличением коэффициента фильтрации в два раза (от 0,5 до 1 м/сутки) расстояние между дренажами при нормах осушения $a = 0,5...0,8$ м увеличивается всего в 1,28...1,34 раза.

Таблица 15.8

Границы доверительного интервала для расстояний между дренажами B при вероятности доверия $\beta = 0,90$; $T_D = 2$ м и $t = 2$ суток

k_ϕ , м/сутки	a , м	B , м	σ_B , м	$\Delta B = t_\beta \sigma_B$, м	B_{min} , м	B_{max} , м	$\frac{\Delta B}{B} \cdot 100\%$
0,5	0,5	6,40	0,24	0,39	6,01	6,79	6,14
	0,6	7,01	0,26	0,43	6,58	7,45	6,19
	0,7	7,69	0,29	0,48	7,22	8,17	6,20
	0,8	8,44	0,32	0,52	7,92	8,96	6,16
1,0	0,5	8,56	0,30	0,49	8,07	9,06	5,78
	0,6	9,32	0,33	0,54	8,78	9,86	5,80
	0,7	10,16	0,36	0,59	9,57	10,75	5,80
	0,8	11,07	0,39	0,64	10,43	11,71	5,76

Сравнивая средние значения расстояний B , которые вычислены по формуле (15.68) с пределами доверительных интервалов B_{min} и B_{max} , что отвечает доверительной вероятности $\beta = 0,90$ (табл. 15.8),

видим, что при $a = 0,5...0,8$ м B_{min} в 1,05...1,07 раза меньше, а B_{max} в 1,05...1,06 раза больше соответствующих значений B , которые вычислены при средних значениях параметров по формуле (15.68).

Аналогичное сравнение при доверительной вероятности $\beta = 0,99$ показывает, что B_{min} в 1,09...1,11 раза меньше, а B_{max} в 1,08...1,1 раза больше средних значений B .

Таблица 15.9

Сравнение расстояний между дренами для осушения и увлажнения примеров 2, 3

k_{ϕ} , м/сутки	a , м	$T_{д} = 2$ м и $t = 2$ суток, $\beta = 0,90$			$T_{д} = 2$ м и $t = 4$ суток, $\beta = 0,90$			$T_{д} = 4$ м и $t = 4$ суток, $\beta = 0,90$		
		$\frac{B_{O_{max}}}{B_O}$	$\frac{B_{O_{min}}}{B_{з_{max}}}$	$\frac{B_O}{B_з}$	$\frac{B_{O_{max}}}{B_O}$	$\frac{B_{O_{min}}}{B_{з_{max}}}$	$\frac{B_O}{B_з}$	$\frac{B_{O_{max}}}{B_O}$	$\frac{B_{O_{min}}}{B_{з_{max}}}$	$\frac{B_O}{B_з}$
0,5	0,5	1,14	2,21	2,73	1,13	2,07	2,52	1,14	2,27	2,80
	0,6	1,13	1,61	1,97	1,12	1,55	1,86	1,13	1,66	2,02
	0,7	1,12	1,18	1,43	1,12	1,17	1,40	1,13	1,22	1,47
	0,8	1,12	0,87	1,05	1,11	0,89	1,05	1,13	0,89	1,08
1,0	0,5	1,14	2,14	2,62	1,13	2,01	2,42	1,14	2,20	2,68
	0,6	1,13	1,58	1,91	1,12	1,52	1,81	1,13	1,63	1,96
	0,7	1,12	1,18	1,41	1,11	1,17	1,38	1,12	1,21	1,45
	0,8	1,12	0,88	1,05	1,11	0,89	1,06	1,12	0,90	1,08

Анализируя результаты расчетов расстояний между дренами для режимов осушения и увлажнения (табл. 15.9), можно увидеть, что расстояние между дренами в режиме осушения при $a = 0,5$ м в 2,8 раза больше, чем при увлажнении, а при норме осушения $a = 0,8$ м они почти одинаковые.

Принимая к сведению нормы [7], в мелиоративных системах двустороннего действия проектное значение расстояний между дренами рекомендуется брать то значение, которое является меньшим из вычисленных для режима осушения или увлажнения.

Учитывая то, что расстояние между дренами B имеет доверительные интервалы, величину B можно назначать, сравнивая B_{min} для осушения из B_{max} для увлажнения.

Литература

1. Про Комплексну програму розвитку меліорації земель і поліпшення екологічного стану зрошуваних та осушених угідь на період до 2010 року : Постанова кабінету міністрів України від 16 листопада 2000 р. № 1704 із змінами внесеними згідно з Постановою КМ № 863 від 24.06.2006. – Київ, 2006.
2. Цуман Н. В. Оцінка ефективності сучасного використання осушених земель в зоні Полісся // Екологічні науки : науково-практ. журнал. – 2014. – № 6. – С. 62–68.
3. Науменко І. І. Надійність споруд гідромеліоративних систем. – Київ: ІСДО, 1994. – 424 с.
4. Мирцхулава Ц. Е. Надежность систем осушения. – М.: Агропромиздат, 1985. – 239 с.
5. Контроль качества в мелиоративном строительстве: К 65 : справочник / Е. А. Богатов, В. В. Варваров [и др.]. – Киев: Урожай, 1990. – 192 с.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
7. ДБН В. 2.4–1–99 Меліоративні системи та споруди. – Київ: Держбуд України, 1999. – 112 с.
8. Маслов Б. С., Минаев И. В., Губер К. В. Справочник по мелиорации. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 280 с.
9. Мелиорация и водное хозяйство : справочник. – Т. 3. Осушение / под ред. Б. С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
10. Поляков В. Л. К расчету фильтрации со свободной поверхности // Теория и расчеты фильтрации. – Киев: Наук. думка, 1980. – С. 46–56.

Глава 16. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ЗОНЫ ПОЛЕСЬЯ

16.1. Общая характеристика объектов и систем автоматического управления

16.1.1. Главные предпосылки к автоматизации водохозяйственных мелиоративных объектов. Одним из главных направлений совершенствования мелиоративных систем является автоматизация производственных процессов. На отдельных узлах, звеньях сети, а также в целом на оросительных и отдельных осушительно-увлажнительных системах (ОУС) могут быть автоматизированы основные технологические процессы [1, 5, 9, 12, 16, 17, 24].

Сегодня большинство существующих систем находятся на недостаточно высоком техническом уровне, управление технологическими процессами на многих гидротехнических и мелиоративных объектах, как правило, осуществляется вручную, и, как следствие, водораспределение и водорегулирование на системах во многом решается не оптимально. Существующая техника и организация выполнения гидрометрических работ на системах требуют значительного улучшения.

Мониторинг, дистанционный контроль, диспетчерское и автоматическое управление на гидромелиоративных системах (ГМС) требует наличия эффективной многоуровневой распределенной системы управления, потому что для мелиоративных систем как сложных объектов управления характерны большие постоянные промежутки времени [5, 17, 20], характеризующие динамические свойства (инерционность) объекта исследования, при наличии неконтролируемых возмущений вследствие резкого изменения метеорологических условий, распределении регулируемых параметров по пространственным координатам и удаленности от пунктов централизованного управления.

В частности, большинство регулируемых объектов расположены на большой площади, и подведение электроэнергии к каждому из них экономически невыгодно, поэтому большое значение приобретает применение устройств гидропневмоавтоматики, в которых используется энергия гидравлического перепада уровней (или давлений) воды на регулирующих сооружениях и устройствах открытой и закрытой сети.

С учетом этого целью автоматизации технологических процессов в гидромелиорации является обеспечение оперативного водораспределения и водорегулирования для создания благоприятного водно-воздушного режима почвы. Это обеспечивает необходимые условия для экономии воды и электроэнергии, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения затрат при эксплуатации водохозяйственных мелиоративных объектов.

16.1.2. Основные понятия и определения. В окружающем мире мы постоянно наблюдаем различные процессы управления: от самых простых до весьма сложных. Они встречаются практически во всех сферах деятельности человека. Утром, занимаясь гимнастикой, подсознательно управляем движением своего тела, на улицах водители управляют различными средствами транспорта, на производстве специалисты управляют станками и машинами, технологическими и другими процессами. Таким образом, управление представляет собой такую форму организации процесса, которая обеспечивает достижение заданных целей.

Во всех процессах управления можно выделить объект управления и средства управления, совокупность которых образует систему управления. В технике под объектом управления понимают совокупность технических средств, сооружений и других устройств, в которых протекают управляемые процессы [27, 28]. Объектами управления могут быть дождевальная машина, насосная станция, мелиорированное поле и т. п.

Таким образом, управление каким-либо объектом при наличии помех состоит из четырех элементов (рис. 16.1): наличия информации о цели управления, получения информации о результатах управления, выработки решения на основе анализа полученной информации и исполнения принятого решения. Поэтому система управления должна иметь источники информации о цели управления и результатах управления, средства, анализирующие информацию и вырабатывающие воздействия, и исполнительные устройства. Так, в системе регулирования уровня воды в открытом канале источником информации является уровнемер, преобразовывая значение уровня воды в пропорциональное значение электрического напряжения [4].

Для обеспечения рационального управления сложным объектом (мелиоративной системой, насосной станцией, большим строительством и т. д.) необходимо в ограниченное время анализировать большой объем информации, сравнивать множество возможных вариантов. В этом случае применяют автоматизированные системы управления (АСУ), которые представляют собой совокупность экономико-математических методов, технических средств (ПК, средств связи, устройств отображения ин-

формации и т. д.) и организационных комплексов, обеспечивающих управление объектом в соответствии с заданной целью [4, 5, 6, 12, 15, 23, 24].

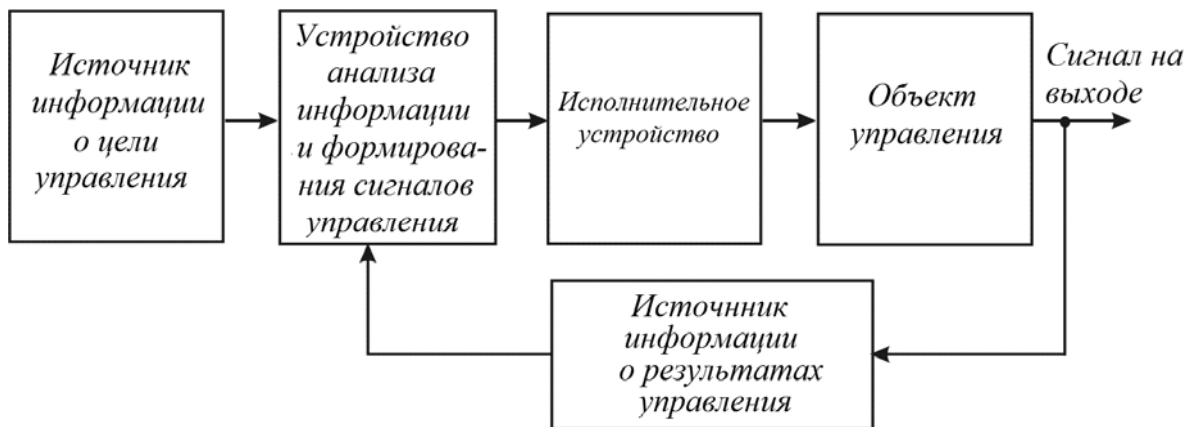


Рис. 16.1. Функциональная схема системы автоматического управления

В зависимости от степени участия человека в управлении производственным процессом различают частичную и комплексную автоматизацию [4, 12, 27, 28]. При частичной автоматизации часть операций выполняет человек, а часть – технические устройства. Например, при частичной автоматизации водораспределения на оросительных системах гидротехнические сооружения оснащаются средствами местной автоматизации – автоматическими регуляторами для стабилизации регулирующих параметров (уровней, расходов и т. п.) и контрольно-измерительными приборами. При изменении режима водораспределения информация поступает на диспетчерский пункт, откуда команды управления (средствами связи) передаются линейному персоналу, который меняет режимы работы средств местной автоматизации.

Для комплексной автоматизации характерно то, что все операции по управлению выполняются без непосредственного участия человека. При комплексной автоматизации в его обязанности входит лишь настройка средств автоматизации, их включение и периодический контроль за их работой. В свое время попытки внедрения комплексной автоматизации были осуществлены на Ирпинской осушительно-увлажнительной системе, Бортнической оросительной системе (Киевская область), Фрунзенской оросительной системе (Днепропетровская область), Каховской оросительной системе (Запорожская область) и других.

Выбор степени автоматизации гидромелиоративных объектов производят на основе технико-экономического обоснования. При этом следует учитывать, что наибольшая эффективность достигается в том случае, если автоматизировать весь технологический процесс. Так, автоматизация мелиоративной системы должна охватывать водораспределение, полив, вертикальный и горизонтальный дренажи и другие процессы, что требует создания автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) [5, 12].

16.1.3. Основные принципы управления. В ряде случаев цель управления – обеспечение постоянства некоторой физической величины, характеризующей управляемый процесс (например, уровень воды в канале, давление воды в трубопроводе и т. д.). Такой частный случай управления называется регулированием [28]. Совокупность средств, при помощи которых осуществляется регулирование, называется автоматическим регулятором. Регулятор и объект регулирования образуют систему автоматического регулирования (САР). Для реализации алгоритма регулирования в конструкцию системы вводят обратную связь. Системы управления с обратной связью относятся к классу систем автоматического регулирования по отклонению [4, 27, 28].

Принцип управления по отклонению лежит в основе подавляющего большинства автоматических систем. В качестве примера рассмотрим простейшую замкнутую систему автоматического регулирования уровня воды в резервуаре (рис. 16.2). В результате при изменении уровня изменяется поступление воды в резервуар и уровень автоматически поддерживается постоянным независимо от того, какие причины вызвали его изменение. В этом заключается основное преимущество регулирования по отклонению (рис. 16.2, а).

Кроме управляющих воздействий, на любой объект управления действуют разнообразные возмущающие факторы, мешающие нормальному течению процесса. Эти факторы принято называть возмущающими воздействиями. Соответственно при управлении по отклонению возникает некоторое запаздывание действия сигналов управления по отношению к возмущающим воздействиям. В от-

дельных случаях это запаздывание столь велико, что нормальная работа системы становится невозможной. Чтобы устранить этот недостаток, применяют принцип управления по возмущению (16.2, б) [4, 27, 28].

Суть принципа *управления по возмущению* состоит в том, что сигналы управления вырабатываются в зависимости от возмущающих воздействий, вызывающих отклонение управляемых параметров от требуемого значения. В системах, построенных по этому принципу, источник информации о результатах управления заменяется источником информации о возмущающих воздействиях. Обычно выбирают основные возмущающие воздействия на объект и по нему осуществляют управление. Применительно к рассмотренному примеру основным возмущающим воздействием является расход, изменение которого приводит к изменению уровня воды в резервуаре.

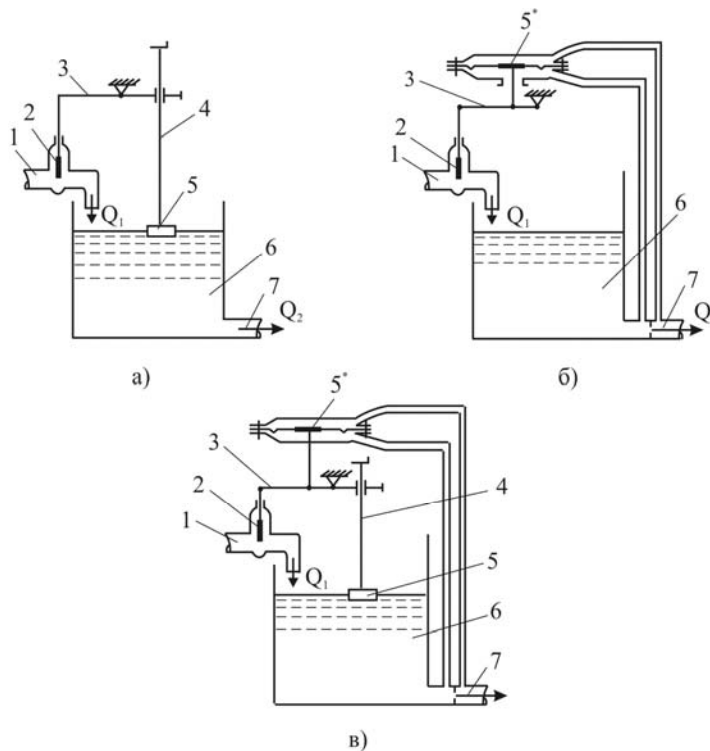


Рис. 16.2. Системы автоматического регулирования уровня воды в резервуаре: а – по отклонению; б – по возмущению; в – комбинированная

1, 7 – трубопровод; 2 – клапан (исполнительный орган); 3 – рычаг; 4 – штанга; 5 – поплавок; 5* – мембрана; 6 – резервуар (объект регулирования)

Таким образом, система регулирования по возмущению обладает тем положительным свойством, что воздействие на исполнительное устройство происходит без всякого запаздывания по отношению к возмущающему воздействию, то есть до момента, когда начинает заметно изменяться управляемый параметр объекта. Так достигается высокое быстродействие системы.

Основным недостатком систем регулирования по возмущению является то, что они не реагируют на действия второстепенных возмущений, называемых помехами, а действие помех приводит к тому, что управляемые параметры постепенно отклоняются от требуемых значений. Поэтому управление по возмущению применяют очень редко.

Используя оба принципа, получают *систему комбинированного управления* (рис. 16.2, в). Комбинированные системы сочетают в себе преимущества управления по отклонению и возмущению. Они обладают высоким быстродействием и точностью управления. Эти системы применяют для регулирования уровней воды в бьефах канала, частоты вращения двигателей и других параметров, где требуются высокие точность и быстродействие.

16.1.4. Классификация систем автоматического управления. Классификация всегда базируется на определенных признаках. Процессы управления независимо от того, происходят ли они в живых организмах или в машинах, связаны с получением, передачей и использованием информации. Поэтому наиболее общим классификационным признаком является информация, используемая при управлении [27, 28].

Начальная информация представляет собой совокупность сведений об объекте управления и средствах управления, необходимых для создания и функционирования системы автоматического

управления. Так, для построения системы автоматического регулирования уровня воды в резервуаре необходимо знать геометрические размеры резервуара, пределы изменения расхода, давления в питающем трубопроводе и другие данные. Эти сведения и составляют начальную информацию [4].

Количество исходной информации, необходимое для построения и функционирования системы управления, называется полной начальной информацией. Если количество начальной информации об управляемом процессе составляет лишь часть необходимой, то такую информацию называют неполной.

Рабочей информацией называется совокупность сведений о действительном состоянии управляемого процесса в любой момент времени. Ее получают при помощи измерительных устройств, и она передается в виде сигналов – носителей информации. Физическая природа сигналов может быть разнообразной: электромагнитной, механической, тепловой, гидравлической и др. При этом в одной системе управления может происходить многократное преобразование вида сигналов [4].

В зависимости от количества начальной информации, используемой для построения и функционирования системы управления, все системы автоматического управления (САУ) подразделяют на обыкновенные системы, системы с адаптацией и автоматизированные системы управления (рис. 16.3) [27, 28].

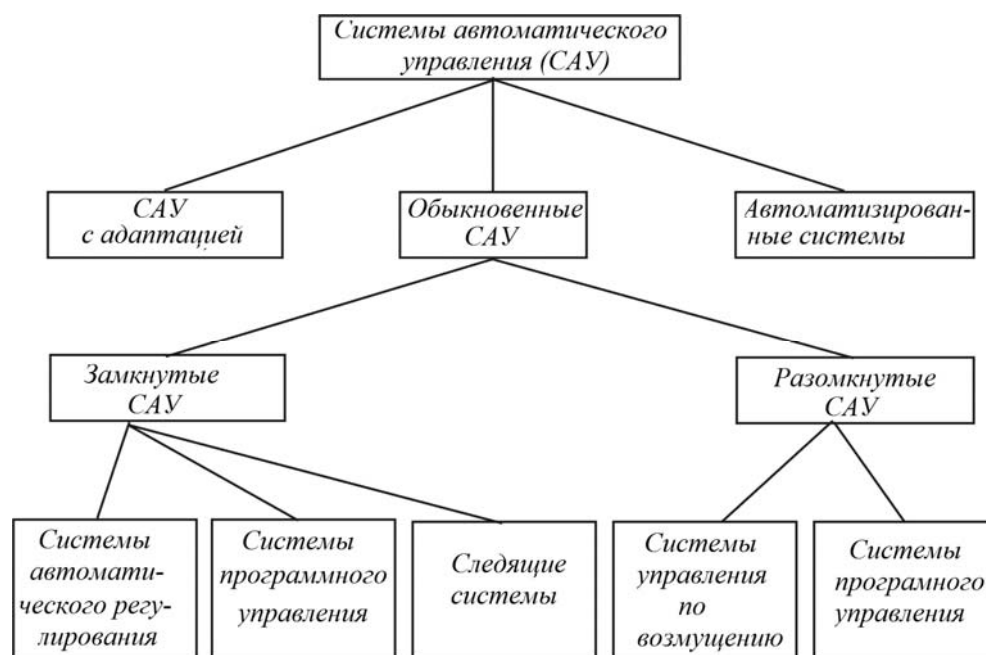


Рис. 16.3. Классификация систем автоматического управления

В настоящее время САУ успешно применяются для управления водораспределением на многих оросительных системах и водорегулированием на ОУС.

16.2. Теоретические основы и принципы автоматизации гидромелиоративных систем на осушаемых землях

Состав и конструкция гидромелиоративных систем зависят от метода и способа увлажнения [12, 42, 49], тогда как автоматизация технологических процессов на системе зависит от принятой схемы автоматического регулирования на сети [5, 12], которая обеспечивает отвод и подачу воды по принятым методам увлажнения мелиорированных земель. В первом и втором случаях эксплуатационный персонал должен выполнять работы по предварительной настройке системы, начальном ее запуске и техническому обслуживанию средств автоматики в процессе эксплуатации.

Автоматическая регулировка на осушительных системах должна создать оптимальный режим работы сети каналов для отвода избыточной воды с осушаемой территории, а на ОУС должна обеспечить еще и подачу воды в увлажняющую сеть каналов. Соответственно необходимо обеспечивать автоматизацию как отвода избыточных вод, так и подачу воды на увлажнение при дефицитах влажности почвы. Безусловно, эти технологические особенности должны учитываться в схемах автоматического водорегулирования на системе. Поскольку работу ОУС в режиме увлажнения можно приравнять к работе оросительной системы, поэтому при их автоматизации можно использовать опыт автоматизации оросительных систем [10, 15, 43].

Сложность оценки водного режима осушаемых земель связана с динамическим неопределенным характером изменения в течение периода вегетации влажности почвы и уровня грунтовых вод (УГВ), которые обусловлены стохастическим характером определяющих климатических факторов воздействия (осадки и испарения) и условиями их формирования.

Это доказывает, что среднее значение влажности (или влагозапасов) почвы и УГВ в пределах периода вегетации, по которым традиционно оценивается водный режим мелиорированных земель, не всегда адекватно отражают динамику их изменения, то есть режимный характер их природы.

Решая эти вопросы, А. Н. Янголь [49] одним из первых показал, что для года с осадками и испарением различной обеспеченности норму осушения можно определить по зависимости между УГВ, влажностью почвы, осадкам и испарению, то есть в количественном выражении подтвердил существующую в природе взаимосвязь между ними.

Итак, основными показателями водного режима осушаемых земель, что характеризуют влажность почвы и ее влагозапасы, являются норма осушения, амплитуда колебания УГВ, осадки. Для создания благоприятного водно-воздушного режима почвы необходимо проводить оперативное водораспределение и водорегулирование на системе. С этой целью каналы и закрытая сеть ОУС оборудуются регулирующими сооружениями. На каналах устанавливаются шлюзы-регуляторы, обеспечивающие расчетные напоры.

16.2.1. Теоретические основы автоматизации водорегулирования осушаемых земель. При управлении по УГВ, вследствие нелинейности объекта и гистерезисных явлений, также нужно учитывать связь между влажностью корневого слоя и УГВ, который является не однозначным, что влияет на качество регулирования. В динамических режимах именно зона аэрации через низкие коэффициенты влагопереноса является наиболее инерционным звеном, определяющим режимы увлажнения. Поэтому синтез режимов управления водорегулированием на ОУС необходимо осуществлять на основе анализа влагопереноса в насыщенной [6, 8, 21, 45] и ненасыщенной зонах [18, 23], при этом учитывая влияние возмущающих факторов (суммарного испарения и осадков).

Таким образом, водорегулирование на осушительных системах традиционно осуществляется управлением УГВ на мелиорированных полях, создавая условия использования принципов и средств гидроавтоматики [2, 4, 7, 9, 12, 14, 22, 24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 44].

Впервые ОУС с автоматической регулировкой водного режима шлюзованием на площади 800 га была построена в 1978 г. на землях Полесской опытно-болотной станции. Шлюзование осуществлялось с помощью регулируемых преграждающих сооружений, оборудованных электроприводами. Для регулирования стока применялись коробчатые колесные затворы, а для регулирования водоподачи – колесные плоские затворы (см. 16.4.2).

Теоретические основы возможности и целесообразности автоматизации водорегулирования на осушаемых землях на основе гидравлических принципов включают в себя следующие основные положения.

16.2.2. Динамика уровня грунтовых вод при осушении. При осушении изменение УГВ описывается уравнением неустойчивой фильтрации, его решение необходимо для выбора рациональной системы автоматического регулирования и определения ее параметров [8].

На площади, которая ограничена двумя регулирующими каналами и где отсутствует дополнительное питание (рис. 16.4, а), изменение УГВ $z(x, t)$ описывается уравнением в частных производных

$$a \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{\partial z}{\partial t}, \quad 0 < x < L, \quad (16.1)$$

где a – коэффициент пьезопроводности.

Это уравнение справедливо для плоскости отсчета на отметке уровня воды в каналах. Для его значения необходимо задать начальные и граничные условия. В качестве начального условия можно принять некоторое заданное распределение

$$z(x, 0) = f(x). \quad (16.2)$$

Между каналами справедливо условие

$$\frac{\partial z(0, t)}{\partial x} = 0. \quad (16.3)$$

Так как канал не полностью прорезает водоносный слой, то это принято учитывать введением в контур канала сосредоточенного фильтрационного сопротивления, который можно представить в виде

$$\frac{\partial z(L, t)}{\partial x} + \alpha z(L, t) = 0, \quad (16.4)$$

где α – коэффициент фильтрационного сопротивления.

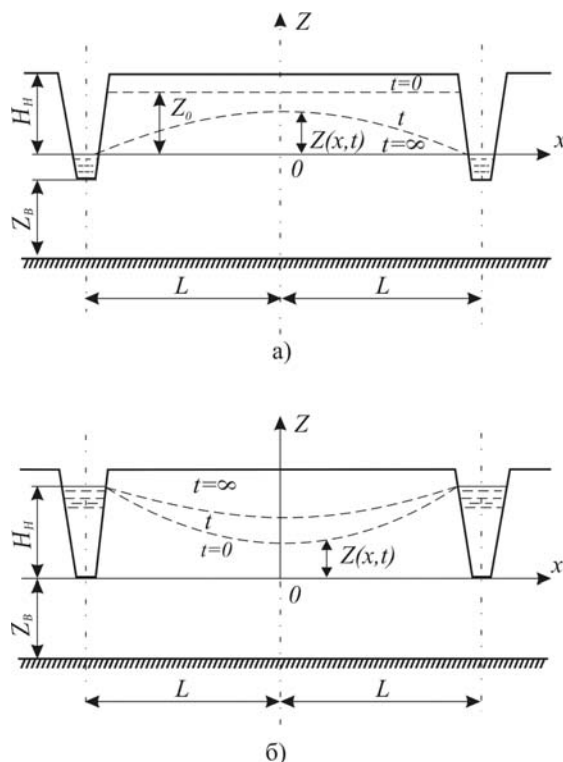


Рис. 16.4. Динамика уровней грунтовых вод:
а – при осушении; б – при увлажнении

Решить уравнение (16.1) при начальных и граничных условиях (16.2)–(16.4) можно методом разделения переменных.

Если ввести безразмерные переменные $\bar{x} = \frac{x}{L}$ и $\bar{t} = \frac{at}{L^2}$, то решение (16.1) имеет следующий вид

$$z(x, t) = 2L\alpha_1 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\cos \mu_i \bar{x}}{\sin \mu_i^2 + \alpha_1} \exp(-\mu_i^2 \bar{t}) \int_0^1 f(\bar{x}) \cos \mu_i \bar{x} d\bar{x}, \quad (16.5)$$

где $\alpha_i = \alpha/L$; μ_i – корни трансцендентного уравнения;

$$\mu \operatorname{tg} \mu = \alpha_1. \quad (16.6)$$

Корнями уравнения (16.6) являются точки пересечения кривых $y = \operatorname{tg} \mu$ и гиперболы $y = \alpha_1/\mu$. Очевидно, что существует бесконечное число корней уравнения (16.6), которые обозначаем как μ_i ($i = 1, 2, 3 \dots$).

Уравнение (16.5) описывает изменение во времени УГВ в межканальной полосе при начальном распределении $f(x)$. Если некоторое время УГВ и воды в каналах одинаковы, а затем уровень в каналах понизить до H_n , то можно считать $f(x) = z_0$. В этом случае уравнение (16.5) принимает вид

$$z(\bar{x}, \tau) = 2z_0\alpha_1 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_i \cos \mu_i \bar{x}}{\mu_i (\sin^2 \mu_i + \alpha_i)} \exp(-\mu_i^2 \tau). \quad (16.7)$$

Подставив в (16.7) $x = 0$, получаем закон изменения УГВ посередине между каналами в виде

$$z(0, \tau) = 2z_0\alpha_1 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_i}{\mu_i (\sin^2 \mu_i + \alpha_i)} \exp(-\mu_i^2 \tau). \quad (16.8)$$

По уравнению (16.8) можно построить зависимость $z(0, \tau)$ и с ее помощью определить относительное время τ_1 , за которое УГВ понизится на требуемое значение Δz .

Действительное время, которое называют временем осушения, равно

$$t_1 = \tau_1 L^2 / \alpha. \tag{16.9}$$

Если время t_1 окажется больше допустимого времени переувлажнения почвы, то, как это следует из (16.9), его можно уменьшить за счет уменьшения расстояния между каналами или увеличения перепада уровней Δz . Поскольку уравнение (16.8) получено без учета испарения, то время t_1 больше фактического времени осушения.

16.2.3. Динамика уровня грунтовых вод при увлажнении. В рассматриваемой системе при понижении УГВ до нижнего предела z_n уровень воды в регулируемых каналах повышают до H_B (рис. 16.4, б). С этого момента начинается режим увлажнения.

Динамика грунтовых вод при увлажнении и отсутствии испарения приближенно описывается уравнением (16.1). Начальным условием в этом случае является положение УГВ в конце осушения. Уравнение, описывающее изменение во времени УГВ посередине между увлажнителями, как и при осушении, представляет собой бесконечную сумму экспоненциальных функций, которую при определенных условиях приближенно можно аппроксимировать одной экспонентой, смещенной относительно начала координат на отрезок времени τ_0 . Возможность такой замены подтверждена экспериментально [5, 6, 17].

На рисунке 16.5 показаны снятые экспериментально В. И. Кумачевым [17] кривые изменения УГВ посередине между увлажнительными каналами для мелкозалежного торфяника, подстилаемого мелкозернистыми песками, которые по мере углубления переходят в крупнозернистые с гравием и галькой.

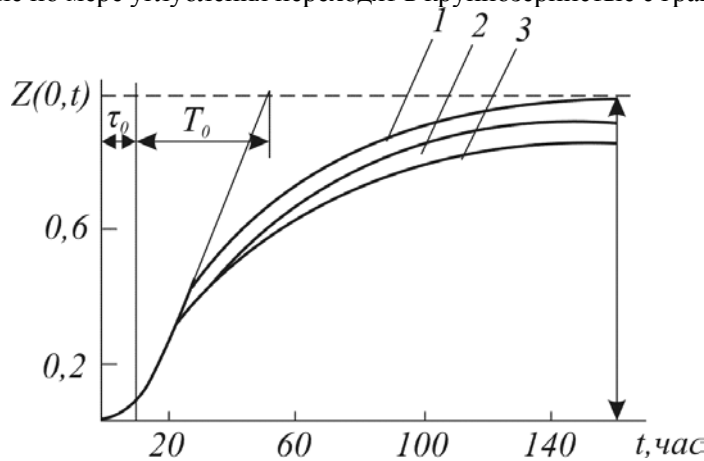


Рис. 16.5. Кривые изменения УГВ посередине между увлажнительными каналами при разной интенсивности испарения

Мощность водоносного слоя 30 м. Кривая 2 соответствует интенсивности испарения $E = 2,1$ мм/сутки, кривая 3 — $E = 4,5$ мм/сутки. Разность уровней $\Delta H = 1$ м в процессе снятия кривых поддерживалась постоянной.

Расхождение кривых 2 и 3 (рис. 16.5) обусловлено разной интенсивностью испарения. Очевидно, что при $E = 0$ мм/сутки кривая изменения УГВ пройдет выше экспериментальных кривых и с течением времени будет асимптотически приближаться к ΔH (кривая 1, рис. 16.5). Эту кривую можно принять за переходную характеристику объекта регулирования, для которого управляющим воздействием является начальная разность уровней ΔH , а регулируемой величиной — УГВ посередине межканальной полосы. В других сечениях переходные характеристики имеют аналогичный вид, но их наклон увеличивается при приближении расчетного сечения к увлажнителю, что характерно для объектов с распределенными параметрами [2].

Переходную характеристику $z(0, t)$, как это показано на рисунке 16.5, можно аппроксимировать экспонентой с постоянной времени T_0 , смещенной относительно начала координат на τ_0 .

Смещение во времени передаваемых сигналов управления создает звено с постоянным запаздыванием, переходная характеристика которого описывается уравнением

$$x_{вых}(t) = x_{вх}(t - \tau), \quad (16.10)$$

при этом $x_{вых} = 0$ для $t < \tau$. Выражение (16.10) показывает, что выходная величина повторяет входную со сдвигом во времени на время τ .

Экспонента является переходной характеристикой инерционного звена (рис. 16.6).

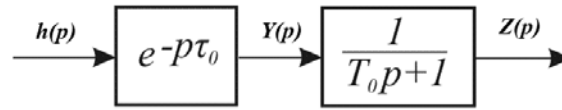


Рис. 16.6. Структурная схема мелиорированного поля как объекта регулирования при увлажнении

Поэтому мелиорированное поле в режиме увлажнения при регулировании УГВ в заданном сечении длинной межканальной полосы можно приближенно представить последовательным соединением звена с постоянным запаздыванием и инерционного звена с коэффициентом усиления $k = 1$.

Передаточная функция звена с постоянным запаздыванием выражается зависимостью

$$W(p) = \exp(-p\tau). \quad (16.11)$$

Передаточная функция инерционного звена

$$W(p) = \frac{k}{T_0 p + 1}. \quad (16.12)$$

Передаточная функция последовательного соединения двух звеньев равна произведению передаточных функций этих звеньев

$$W(p) = \frac{x_{вых}(p)}{x_{вх}(p)} = W_1(p)W_2(p). \quad (16.13)$$

Таким образом, передаточная функция рассматриваемого объекта регулирования имеет вид

$$W_0(p) = \frac{\exp(-\tau_0 p)}{T_0 p + 1}. \quad (16.14)$$

Передаточной функции (16.14) соответствует система уравнений:

$$\begin{cases} y = \Delta H(t - \tau); \\ z(0, t) = y[1 - \exp(-t/T_0)], \end{cases} \quad (16.15)$$

где y – выходная величина звена с постоянным запаздыванием.

Зависимости, представленные на рисунке 16.5, сняты при быстром подъеме уровня воды в регулирующих каналах. В действительности на скорость наполнения регулирующих и проводящего каналов накладываются ограничения, связанные с размывающими скоростями течения воды. Это приводит к дополнительному запаздыванию начала подъема УГВ на время τ_k , которое зависит от уровня воды в увлажнительном канале, степени открытия водовыпускного сооружения в емкости каналов. Его можно рассчитать теоретически или определить экспериментально при наполнении каналов до заданной отметки. С учетом дополнительного запаздывания передаточная функция мелиорированного поля с сетью увлажнительных каналов имеет вид

$$W_{0к}(p) = \frac{\exp[-(\tau_0 + \tau_k)p]}{T_0 p + 1}. \quad (16.16)$$

Запаздывание $\tau_{0к} = \tau_0 + \tau_k$ приближенно равно времени от момента открытия водовыпускного сооружения до начала изменения УГВ в среднем сечении. Постоянная времени объекта T_0 характеризует его инерционность, поэтому величину $v = t/T_0$ называют скоростью разгона [27, 28].

16.2.4. Управляемость и закон регулирования. Управляемость мелиорированного поля как объекта системы автоматического регулирования характеризуется степенью влияния управляющего воздействия на изменение регулируемой величины [1, 6, 8, 9, 12, 22, 23, 45, 46].

Для объектов с постоянным запаздыванием коэффициент управляемости

$$k_k = 1 / \nu \tau_{0k}. \quad (16.17)$$

При $k_k < 1$ объект неуправляем, а если $k_k > 1$, то возможно автоматическое управление объектом, и чем больше k_k , тем выше его управляемость. Для мелиорированного поля $\nu = 1/T_0$ и $k_k = T_0/T_{0k}$. При увлажнении обычно $T_0 > \tau_{0k}$, поэтому мелиорированное поле с сетью регулирующих каналов управляемо по уровню воды в каналах.

Кроме управляемости по управляющему воздействию объект должен быть управляемым и по возмущению [27, 28]. Для определения управляемости по возмущению разложим основное возмущение (испарение) на составляющие: 1) стохастическое изменение интенсивности испарения в течение суток; 2) циклическое изменение интенсивности с периодом 24 ч; 3) медленно изменяющуюся составляющую испарения, зависящую от развития растений. Так как τ_{0k} обычно больше времени действия стохастических возмущений, то по этому возмущению объект неуправляемый, то есть уменьшить изменение УГВ, вызванные этими возмущениями, регулятор не может. Чтобы эти возмущения не вызывали формирования ложных управляющих воздействий, зона нечувствительности системы регулирования должна быть больше изменения УГВ, вызванного внутрисуточными изменениями испарения.

Если τ_{0k} меньше суток, то по отношению к составляющим 2) и 3) объект управляемый.

Наиболее благоприятные условия для развития растений создаются при условии, что влажность корнеобитаемого слоя почвы периодически изменяется в оптимальных пределах

$$\delta_{opt} = W_B - W_n, \quad (16.18)$$

где W_B, W_n – соответственно верхний и нижний пределы влажности. Для большинства сельскохозяйственных культур пределы δ_{opt} установлены экспериментальным путем.

Изменение влажности в пределах δ_{opt} при известной интенсивности испарения можно обеспечить изменением УГВ в диапазоне Δz_p . Для вычисления Δz_p используют уравнение вертикального изотермического влагопереноса [1, 16, 18, 19, 23]:

$$\mu(H) \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(W) \frac{\partial H}{\partial z} \right] - T(W, z), \quad (16.19)$$

где H – напор, равный сумме капиллярно-сорбционного и гравитационного давления; $\mu(H)$ – дифференциальная влагоемкость; $K(W)$ – зависимость коэффициента влагопроводности от влажности; $T(W, z)$ – функция удельного потребления воды корнями растений; z – вертикальная координата; t – время при заданных граничных условиях.

Решение уравнения влагопереноса (16.19) для ряда значений УГВ при расчетном суммарном испарении E_p дает семейство кривых изменения влажности по профилю $W(z)$ (рис. 16.7). По этим кривым для средней точки z_{cp} расчетного слоя (0...30 см или 30...50 см) определяют УГВ z_B и z_n , соответствующие пределам влажности W_B и W_n . Разность $z_B - z_n = \Delta z_p$ называется диапазоном регулирования УГВ при расчетном испарении E_p .

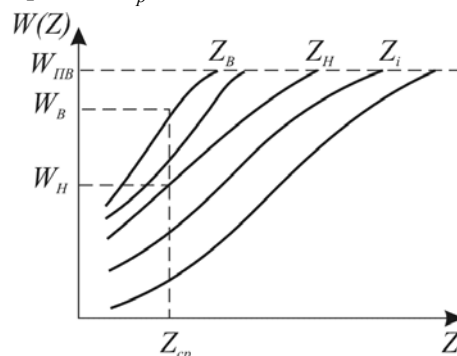


Рис. 16.7. Кривые изменения влажности по профилю почвы

Если интенсивность суммарного испарения E отличается от расчетного значения E_p , то при диапазоне регулирования УГВ Δz_p предельные влажности W_B и W_n смещаются. В случае $E > E_p \cdot \delta_{om}$ смещается в сторону меньших значений влажности, при $E < E_p$ – в сторону больших значений. Поэтому регулирование по УГВ обеспечит лишь приближенно оптимальные изменения влажности в расчетном слое почвы.

При регулировании по УГВ шлюзованием связь между Δz_p и уровнями воды в увлажнительных каналах в любой момент времени выражают депрессионные кривые. УГВ посередине между увлажнителями при напоре H можно определить по формуле Аверьянова:

$$z = H\varphi - \frac{EL^2}{2\alpha k z_B} \varphi_1. \quad (16.20)$$

Из уравнения (16.20) вычисляют уровень воды в канале H_i , при котором подъем УГВ произойдет до z_i за время t_i

$$H_i = \frac{z_i}{\varphi} + \frac{EL^2}{2\alpha k z_B} \varphi_1, \quad (16.21)$$

где E – испарение грунтовых вод, м/сут; L – половина расстояния между увлажнителями, м; k – коэффициент фильтрации, м/сут; Z_B – расстояние от дна канала до водоупора, м; α – коэффициент висячести; φ и φ_1 – коэффициенты, определяемые по кривым (рис. 16.8) в зависимости от относительного времени t , равного отношению времени подъема УГВ t_∞ к времени их стабилизации t_c .

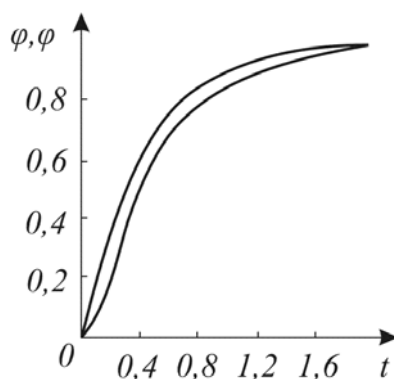


Рис. 16.8. Графики для определения коэффициентов Аверьянова

Коэффициент висячести α учитывает расположение увлажнительного канала относительно водоупора и выражается зависимостью

$$\alpha = \frac{1}{1 + 2.94 \frac{Z_B}{2L} \lg \frac{2Z_B}{\pi(0.5b + H_0)}}, \quad (16.22)$$

где b – ширина канала по дну, м; H_0 – глубина воды в канале до начала увлажнения.

Время стабилизации потока грунтовых вод (сутки)

$$t_c = \frac{\mu L^2}{\alpha k Z_B}, \quad (16.23)$$

где μ – недостаток насыщения почвы.

Установившийся процесс подъема УГВ при $E = const$ наступает, если $t_\infty / t_c = 2$ (рис. 16.9).

При этом $\varphi = 1$ и $\varphi_1 = 1$. Подставляя в (16.21) $\varphi = 1$ и $\varphi_1 = 1$, находят уровни воды в увлажнитель-

ных каналах H_B и H_n , соответствующие УГВ z_B и z_n . Разность $H_B - H_n = \Delta H_p$ определяет диапазон регулирования уровня воды в каналах.

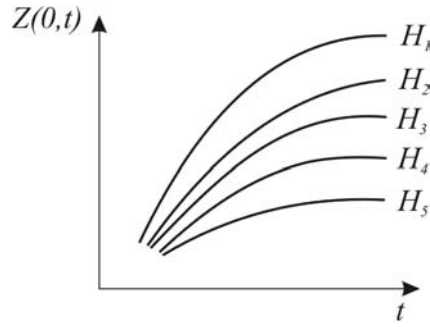


Рис. 16.9. Кривые изменения УГВ при различных уровнях воды в увлажнительных каналах

Когда $t_\infty = 2t_c$ больше времени допустимого подтопления слоя 0,3...0,5 м в приканальной полосе, равного 2–5 суткам, то t_∞ необходимо уменьшить за счет увеличения H_B . Максимальный уровень воды в канале $H_{\text{макс}}$ должен быть на 0,3...0,5 м ниже бровки.

Для принятых значений $H_{\text{макс}}$ и z_B уравнение (16.21) принимает вид

$$z_B = H_{\text{макс}} \varphi - \frac{EL^2}{2\alpha k z_B} \varphi_1. \tag{16.24}$$

Используя кривые, показанные на рисунке 16.9, методом подбора можно найти относительное время $\tau_{\text{мин}}$, удовлетворяющее уравнению (16.24). Минимальное время поднятия УГВ $t_{\text{мин}} = \tau_{\text{мин}} \cdot t_c$. Время $t_{\text{мин}}$ должно быть меньше время t_θ . Если $t_{\text{мин}} > t_\theta$, то необходимо уменьшить расстояние между увлажнительными каналами. Подставляя в (16.24) φ_M и φ_{1M} , соответствующие $t_{\text{мин}}$, получают выражение для вычисления расстояния между каналами

$$L = \sqrt{\frac{\alpha k z_B}{\varphi_{1M}} (H_{\text{макс}} \varphi_M + z_B)}. \tag{16.25}$$

Кроме рассмотренной методики, установить пределы изменения уровня воды в каналах, соответствующие диапазону регулирования УГВ Δz_p , можно следующим образом: по уравнению (16.20) построить семейство кривых $z = f(t)$ для ряда значений H_i (рис. 16.9) и по ним определить ΔH_p для желаемого времени увлажнения.

16.2.5. Оптимальное по быстродействию управление водным режимом. Динамика УГВ на ОУС в основном определяется конструкцией системы, фильтрационными свойствами почвы и напором. В качестве управляющего параметра, как правило, принимают напор. Изменяя его, можно получить желаемый характер изменения УГВ, а следовательно, и влажность корнеобитаемого слоя почвы.

Если изменение УГВ задано в виде некоторой функции времени $z(x_i, t)$ в сечении x_i междреннего пространства, то, преобразуя $z(x_i, t)$ в соответствии с передаточной функцией зоны грунтовых вод $W_{\text{УГВ}}(p)$, получаем необходимый закон изменения напора

$$H(t) = \frac{z(x_i, t)}{W_{\text{УГВ}}(p)}, \tag{16.26}$$

где $p = \frac{d}{dt}$ – символ операции дифференцирования.

При изменении режимов работы ОУС часто ставится задача изменения УГВ на Δz за минимально возможное время при заданных технологических ограничениях, которыми обычно являются распределение УГВ по междренью, напор, скорость движения воды в каналах, запас влаги и другие параметры.

Зная математическую модель зоны грунтовых вод и накладываемые ограничения, с помощью методов теории оптимального управления объектами с распределенными параметрами можно найти

управляющее воздействие, обеспечивающее перевод УГВ на междуренье с начального z_0 в новое установившееся состояние $z = z_0 + \Delta z$ за минимально возможное время. Такое управление называется оптимальным по быстродействию.

16.2.6. Оптимальное по быстродействию управления уровнем грунтовых вод в системе открытыми регулируемыми каналами. Динамика УГВ под действием управляющего воздействия в виде напора $H(t)$ описывается уравнением вида (16.26).

При ограничении напора $H(t) \leq H_{\max}$ оптимальное по быстродействию управление увлажнением имеет ступенчатый характер (рис. 16.20, а).

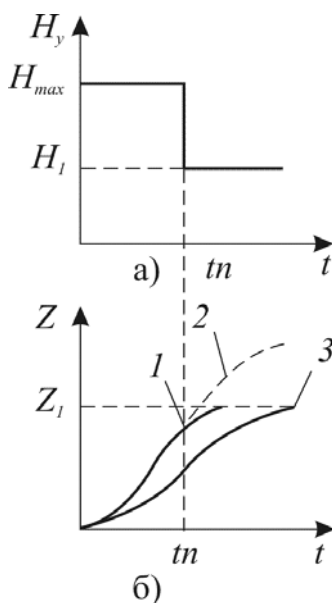


Рис. 16.20. Графики напора (а) и уровня грунтовых вод (б) при оптимальном по быстродействию управлении

При предельном напоре H_{\max} УГВ поднимается с максимальной интенсивностью (кривая 2). Чтобы уровень не превысил заданного значения z_1 , в момент времени t_n напор необходимо уменьшить до H_1 , который соответствует уровню z_1 в стационарном режиме. Причем уменьшение напора необходимо производить в момент t_n , когда переход к стационарному режиму возможен без перерегулирования и за минимальное время. Если напор уменьшать при $t < t_n$, то время переходного процесса увеличивается; при $t > t_n$ – уровень превышает заданное значение z_1 .

Кривая 3 (рис. 16.20) иллюстрирует характер изменения УГВ при $H_1 = const$, кривая 1 (рис. 16.20) – при оптимальном. Их сравнение показывает, что время повышения УГВ при оптимальном управлении значительно меньше, чем при нормальном ($H_1 = const$).

Реализовать ступенчатое управляющее воздействие на управляемом модуле путем маневрирования затворами водоподдачи и стока практически невозможно из-за ограничения скоростей течения воды в каналах [5, 6, 22].

При этом ограничении оптимальное управление можно принять в виде

$$H(t) = \begin{cases} \frac{H_{\max}}{t_1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ H_{\max}, & t_1 \leq t \leq t_n; \\ H_{\max} - \frac{H_{\max} - H_1}{t_2}(t - t_n), & t_n \leq t \leq (t_n + t_2); \\ H_1, & t \geq (t_n + t_2), \end{cases} \quad (16.27)$$

где t_1 – время подъема уровня воды в каналах сети до H_{\max} ; t_2 – время снижения уровня воды в каналах сети на значение $H_{\max} - H_1$; t_n – момент переключения управления; H_1 – уровень воды в сети

каналов, соответствующий новому установившемуся УГВ на середине между дренами. График функции $H(t)$ показан на рисунке 16.21.

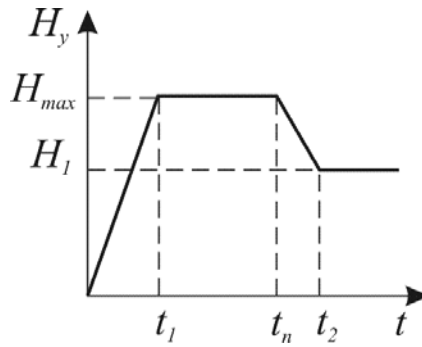


Рис. 16.21. График оптимального по быстродействию управления увлажнением при ограничении скорости течения воды в каналах

Прямолинейный характер изменения уровня воды в сети каналов является аппроксимацией реальных переходных процессов. Замена нелинейных переходных процессов линейными упрощает вычисление оптимального управления.

Для управления вида (16.27) В. П. Сельченко и Б. Ш. Мордухович [20, 45] получили выражение, с помощью которого можно вычислить момент переключения

$$t_n = \frac{4t_c}{\pi^2} \ln \frac{t_2 H_{max} \left[\exp\left(\frac{\pi^2 t_1}{4t_c}\right) - 1 \right]}{(H_{max} - H_1) t_1 \left[\exp\left(\frac{\pi^2 t_2}{4t_c}\right) - 1 \right]}, \quad (16.28)$$

где t_c – время стабилизации уровня грунтовых вод при нормальном управлении $H_1 = const$, определяемое по формуле (16.23).

Выражение (16.28) получено на основе оптимизации решения уравнения динамики УГВ в виде

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{t_c}{L^2} \frac{\partial z}{\partial t} \quad (16.29)$$

с начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} z(x, 0) &= 0, \quad 0 \leq x \leq 2L; \\ z(0, t) &= z(2L, t) = H(t), \quad t \geq 0. \end{aligned}$$

Таким образом, оптимальное управление требует вычисления времени переключения. Автоматизировать вычисления согласно (16.28) достаточно сложно. Задачу можно значительно упростить, если для управляемого модуля принять постоянными t_1, t_2, t_c и H_{max} . При этих допущениях время переключения зависит только от $\Delta H = H_{max} - H_1$. Реализовать зависимость $t_n = f(\Delta H)$ можно при помощи реле времени, поддержка которого определяется функцией $f(\Delta H)$. Срабатывание такого реле будет служить сигналом на изменение напора в сети каналов за счет маневрирования затворами водоподачи и стока.

Оптимальное управление согласно (16.27) связано с перерасходом воды на увлажнение, так как при $t = t_n$ уровни воды в сети каналов необходимо понизить на $H_{max} - H_1$. Если сброс воды производить нежелательно, то управление, близкое к оптимальному, можно осуществить следующим образом. При $H(t) = H_{max}$ регулятор водоподачи переводят на стабилизацию уровня воды на отметке H_1 при таком положении УГВ, когда доувлажнение почвы произойдет за счет избыточной воды в сети каналов и влаги в переувлажненных приканальных участках.

Исходя из этого условия, можно найти УГВ на междренье z_n , при котором необходимо произвести изменение уставки регулятора водоподачи. Сигнал на переключение можно получить от электродного датчика УГВ, установленного в специальной скважине на середине междренной полосы

[9, 45]. В качестве регулятора водоподдачи целесообразно использовать регуляторы с дистанционным управлением.

При осушении оптимальное по быстродействию управление $H_{oc}(t)$ с учетом ограничений интенсивности снижения уровня воды в сети каналов и минимального уровня H_{min} графически имеет вид, показанный на рисунке 16.22.

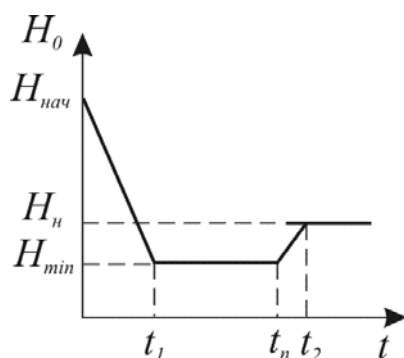


Рис. 16.22. График оптимального по быстродействию управления осушением при ограничении скорости течения воды в каналах

При $0 \leq t \leq t_1$ происходит снижение уровня в сети каналов с заданной интенсивностью. Если $t_1 \leq t \leq t_n$ и $H_{min} = const$, то снижение УГВ идет с максимальной интенсивностью. При t , равном времени переключения t_n , уровень воды в каналах повышают до отметки H_n , соответствующей норме осушения.

Вычислить время переключения t_n можно путем оптимизации решения (16.28) при начальных и граничных условиях.

Оптимальное по быстродействию осушение, как и увлажнение, связано с дополнительным расходом воды. Поэтому с целью экономии водных ресурсов его можно заменить управлением, близким к оптимальному, и реализовать следующим образом. Для этого следует перевести затвор стока с положения H_{min} в положение H_n при таком УГВ, когда дальнейшее осушение почвы приведет к наполнению сети каналов до отметки H_n . Исходя из этого, определяют УГВ z_n на междренье, при котором следует прикрыть затвор стока.

Управление, близкое к оптимальному, просто реализовать с помощью электродного датчика УГВ, установленного на междренье. При $z = z_n$ датчик вырабатывает сигнал на переключение затвора стока, в качестве которого можно использовать клапанный затвор с электроприводом.

16.2.7. Оптимальное по быстродействию управление уровнем грунтовых вод в системах с трубчатым дренажем. Управление УГВ на закрытых осушительных системах осуществляется изменением напора в дренажной сети. Для быстрого подъема необходимо повысить напор. Однако напор $H(t)$ не может превысить отметки земли, а именно 0,5 м. Кроме того, при увеличении напора увеличивается неравномерность увлажнения по междренью. Чтобы не произошло подтопления придренных участков, неравномерность увлажнения не должна превышать предельного значения Δz_L , равного разности УГВ под дреной $z(0, t)$ и на междренье $z(L, t)$ при условии близости депрессионной кривой к стационарному режиму и заданном испарении.

Задача оптимального по быстродействию управления при этих ограничениях формулируется следующим образом: найти такой закон изменения напора в дренажной сети, при действии которого подъем усредненного по междренью УГВ на $z_{cp} - z_0$ произойдет за минимальное время.

Если пренебречь переходными процессами в дренажной сети, то оптимальное управление имеет двухступенчатый характер (рис. 16.20, а).

При этом время переключения определяется из равенства

$$\int_0^L z(x, t) dx = z_{cp} + \Delta z_L / 2. \quad (16.30)$$

Зависимость $z(x, t)$, входящая в (16.30), в общем случае является решением нелинейного уравнения Буссинеска

$$\delta(z) \frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(kz \frac{\partial z}{\partial x} \right) \quad (16.31)$$

при начальном условии

$$z(x, 0) = z_0(x) \quad (16.32)$$

и граничном условии третьего рода на дрене

$$\Phi \frac{\partial z(0, t)}{\partial x} = H(t) - z(0, t), \quad (16.33)$$

где $\delta(z)$ – коэффициент недостатка насыщения почвы, зависящий от УГВ; $z_0(x)$ – начальное распределение УГВ по междренью; k – коэффициент фильтрации; Φ – общее фильтрационное сопротивление по степени и характеру вскрытия пласта; $H(t)$ – напор в дренажной сети.

Для почв с высоким коэффициентом фильтрации уравнения (16.31) необходимо решать с граничным условием (16.33) на протяжении всего процесса увлажнения.

При низкой проводимости почвы в процессе увлажнения происходит нарастание холма грунтовых вод в зоне дренажной засыпки, вызванное неодинаковой проницаемостью дренажной засыпки и ненарушенной структурой почвы. Перепад уровней зависит от напора и времени. В некоторый момент времени УГВ над дренажной становится равным напору в дрене за вычетом фильтрационных потерь. Такой уровень устанавливается во много раз быстрее по сравнению со временем увлажнения.

Для этого случая с начала увлажнения следует принять на границе дренажной засыпки условие

$$z(0, t) = H(t) - \Delta H_\phi, \quad (16.34)$$

где ΔH_ϕ – фильтрационные потери при выходе потока воды из дрены.

Используя (16.31) граничные условия (16.32)–(16.34) и ограничения (16.30), разработали методика исчисления времени переключения t_n [21], она позволяет также провести анализ влияния основных технологических параметров и закона управления на время увлажнения. Поэтому для построения системы автоматического управления УГВ необходимо использовать ПЭВМ, которая будет рассчитывать t_n и формировать команду на смену напора в дренах.

Для усредненных значений коэффициента ненасыщенности почвы δ_{cp} и мощности фильтрующего слоя $z_\phi = z_B + z_{cp}$ уравнение (16.31) принимает вид

$$\delta_{cp} \frac{\partial z}{\partial t} = kz_\phi \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}. \quad (16.35)$$

Используя методы теории оптимального управления объектами с распределенными параметрами, которые описываются линейными уравнениями вида (16.35) с переменными граничными условиями на дрене, получают приближенное выражение для определения времени переключения

$$t_n = \frac{\delta_{cp} L^2}{kz_\phi A^2} \ln \frac{H_{\max} - z_0}{H_{\max} - z_{cp}}, \quad (16.36)$$

где A – коэффициент, зависящий от отношения фильтрационного сопротивления дрены Φ к L и вычисляемый по графику, приведенном на рисунке 16.23; δ_{cp} – коэффициент недостатка насыщения почвы; L – половина расстояния между дренами; k – коэффициент фильтрации; z_ϕ – усредненное значение фильтрующего слоя почвы.

Так как для управляемого модуля $\delta_{cp}, L, k, z_\phi$ и A величины постоянные, то выражение (16.36) можно представить в виде

$$t_n = C \left[\lg(H_{\max} - z_0) - \ln(H_{\max} - z_{cp}) \right], \quad (16.37)$$

где $C = \delta_{cp} L^2 / (kz_\phi A^2)$.

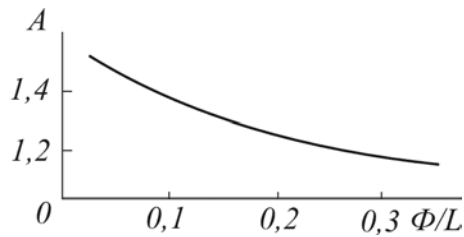


Рис. 16.23. График для определения коэффициента A

Оптимальное управление может осуществляться автономно на каждом модуле или централизованно с помощью водорегулирующего узла. В случае автономного управления в качестве регулятора водоподдачи целесообразно использовать регулятор с устройством отработки двухступенчатого напора.

Рассмотрены теоретические основы управления водным режимом осушаемых земель, что реализуются в реальных условиях функционирования ГМС на основе соответствующих схем и принципов водорегулирования.

16.3. Схемы автоматизации водорегулирования по гидравлическому принципу

На осушаемых землях для создания благоприятного водного режима в каналах и коллекторах ОУС используются следующие схемы автоматизации регулирования со средствами гидроавтоматики [4, 10, 12]:

- по верхнему бьефу перегораживающего сооружения с ограничением нижнего;
- по верхнему бьефу перегораживающего сооружения;
- поддержания постоянных перепадов;
- по нижнему бьефу регулирующего сооружения;
- смешанного типа (комбинированные).

Регулирование по верхнему бьефу перегораживающего сооружения с ограничением нижнего – схема регулирования в каналах открытой осушительно-увлажняющей сети, обеспечивает аккумуляцию необходимых объемов воды для увлажнения, отвод ее остатков за счет стабилизации уровней воды в верхних бьефах перегораживающего сооружения (рис. 16.24).

В аварийных случаях, когда уровни воды в верхнем бьефе превышают максимальные (аварийные), автоматический регулятор полностью открывается, пропуская максимальный расход в нижний бьеф.

Регулирование по верхнему бьефу с ограничением нижнего осуществляется на осушительно-увлажнительных каналах. На сети следует использовать: перегораживающие (водоподпорные) сооружения с автоматическими регуляторами смешанного типа, стабилизирующие уровень воды в верхнем бьефе, и автоматическим переключением на стабилизацию нижнего бьефа; устьевые сооружения осушителей, работающих в режиме увлажнения как водовыпуски в увлажнительные каналы, оборудованные затворами двустороннего действия или регуляторами смешанного типа. В отдельных случаях на этих сооружениях можно использовать регуляторы нижнего бьефа, которые работают только в режиме стабилизации уровня воды в оросительном канале и подают воду в закрытые дрены.

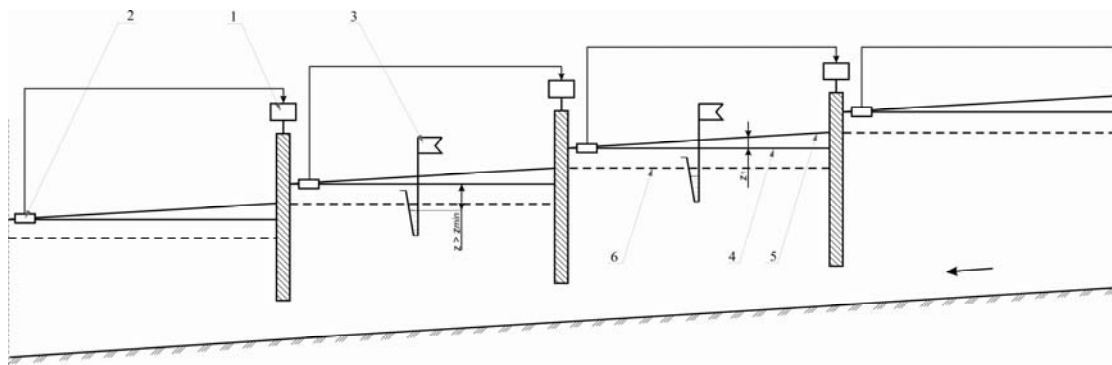


Рис. 16.24. Схема регулирования по верхнему бьефу с ограничением нижнего на открытых каналах:

- 1 – подпорное гидротехническое сооружение с регулятором уровня в верхнем бьефе с ограничением уровня в нижнем бьефе; 2 – датчик уровня; 3 – устьевое сооружение; 4 – свободная поверхность воды при расходе $Q = 0$; 5 – свободная поверхность воды при $Q = Q_{\text{расч.}}$; 6 – минимальный уровень

Такая схема регулирования применяется также на каналах распределительной осушительно-увлажнительной сети и увлажняющих закрытых коллекторах длиной до 1000...1200 м на осушаемых массивах с уклонами до $i = 0,005$ (рис. 16.25).

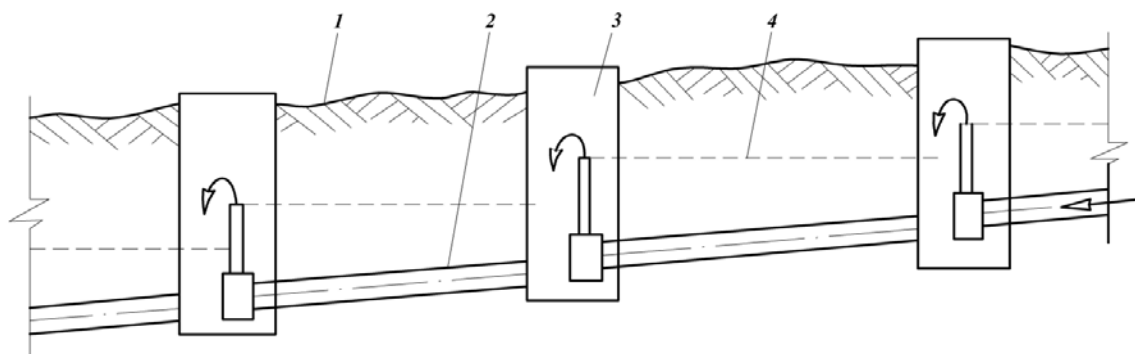


Рис. 16.25. Схема регулирования по верхнему бьефу с ограничением нижнего в увлажняющих коллекторах:

1 – поверхность земли; 2 – закрытый дренажный коллектор; 3 – колодец с регулятором уровня; 4 – свободная поверхность УГВ

Регулировку по верхнему бьефу перегораживающего сооружения применяют на магистральных каналах (рис. 16.26) и каналах осушительно-увлажнительной сети, а также в дренажных коллекторах на массивах с уклонами местности $i = 0,002...0,005$ на почвах различного гранулометрического состава (рис. 16.27)

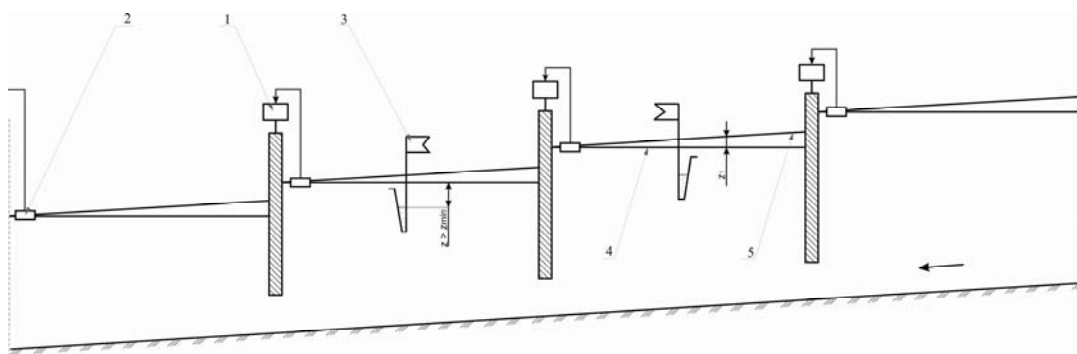


Рис. 16.26. Схема регулирования по верхнему бьефу в открытых каналах:

1 – подпорное гидротехническое сооружение с регулятором уровня в верхнему бьефу; 2 – датчик уровня; 3 – устьевое сооружение; 4 – свободная поверхность воды при расходе $Q = 0$; 5 – свободная поверхность воды при $Q = Q_{расч.}$

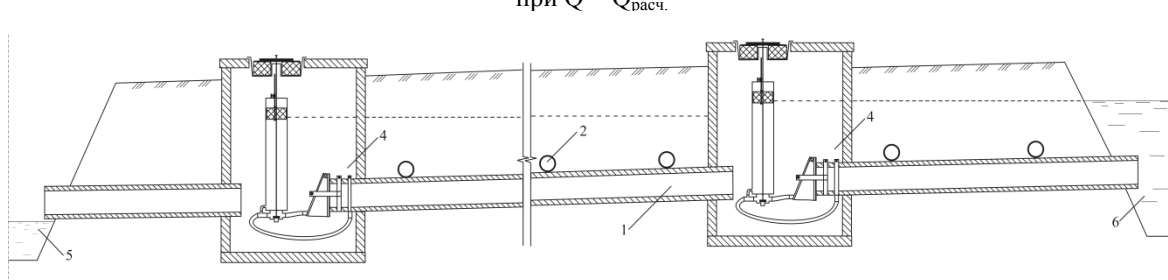


Рис. 16.27. Схема регулирования по верхнему бьефу, регулирования УГВ на проточной сети с использованием гидрорегуляторов водопдачи и дренажного стока:

1 – коллектор; 2 – дренаж; 4 – регулятор дренажного стока, осушительный канал; 6 – увлажняющий канал

Регулирование с постоянными перепадами является современной технологией автоматизации, применяется на магистральных каналах, в частности на системах польдерного типа. Она позволяет снизить фильтрационные нагрузки на откосы каналов, обеспечивает равномерное распределение воды по системе, оптимизирует режимы работы польдерных насосных станций и создает реальные условия для управления уровнями воды в системах путем изменения установки регулятора.

Регулирование по нижнему бьефу применяется для автоматизации водорегулирования с применением увлажнительных каналов на массивах с уклоном не более $i = 0,003$ (рис. 16.28). Таким обра-

зом, возможно обеспечение водоподачи (в расчетных пределах) в соответствии с заявками потребителей, а также эта схема позволяет использовать увлажняющие коллекторы (рис. 16.29).

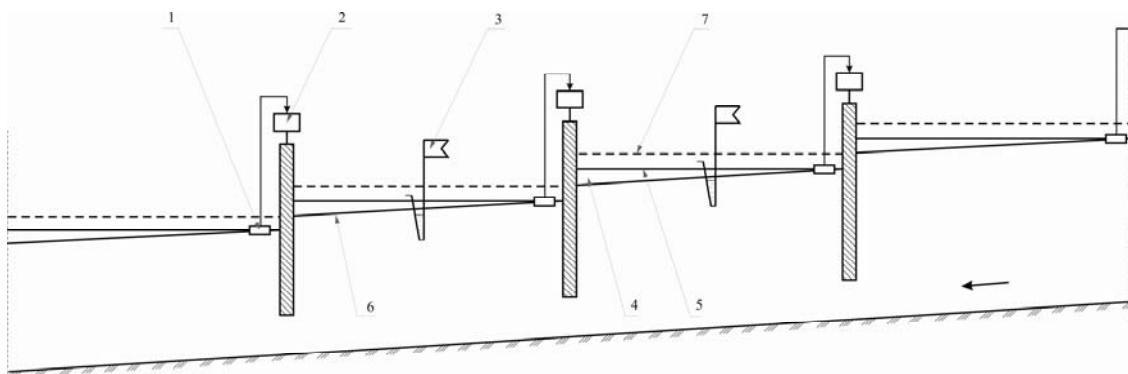


Рис. 16.28. Схема регулирования по нижнему бьефу в открытых каналах:

1 – подпорное гидротехническое сооружение с регулятором уровня в нижнем бьефе; 2 – датчик уровня; 3 – устьевое сооружение; 4 – объем регулирования; 5 – свободная поверхность воды при расходе $Q = 0$; 6 – свободная поверхность воды при $Q = Q_{\text{расч}}$; 7 – аварийный сброс воды

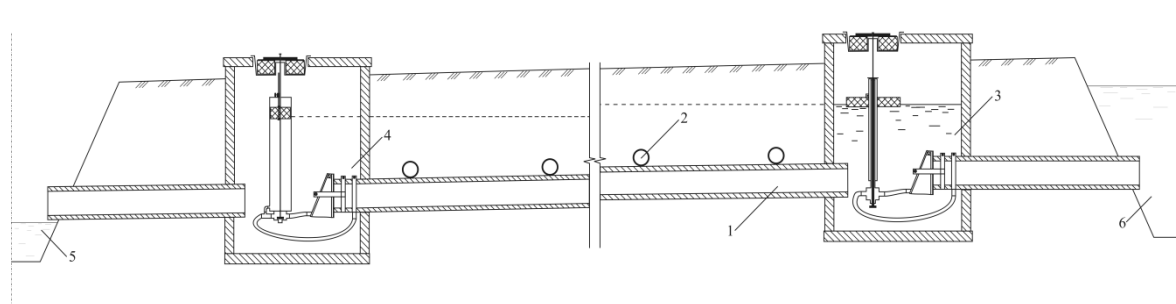


Рис. 16.29. Схема регулирования по нижнему бьефу, регулирования УГВ на проточной сети с использованием гидрорегуляторов водоподачи и дренажного стока:

1 – коллектор; 2 – дренаж; 3 – регулятор водоподачи; 4 – регулятор дренажного стока, осушительный канал; 6 – увлажняющий канал

Смешанное (комбинированное) регулирование целесообразно применять на каналах увлажнительной сети. Такой подход может быть использован для предотвращения переполнения каналов в период летне-осенних наводнений (рис. 16.30).

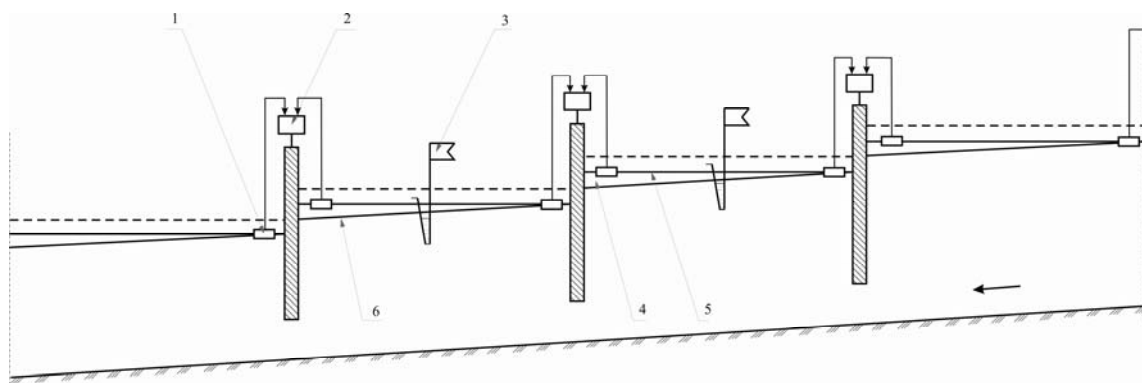


Рис. 16.30. Схема регулирования смешанного типа (комбинированная) на открытых каналах:

1 – подпорное гидротехническое сооружение с регулятором уровня в нижнем бьефе; 2 – датчик уровня; 3 – устьевое сооружение; 4 – объем регулирования; 5 – свободная поверхность воды при расходе $Q = 0$; 6 – свободная поверхность воды при $Q = Q_{\text{расч}}$.

В нормальных эксплуатационных условиях канал работает по схеме регулирования нижнего бьефа, а в аварийных, когда возникает угроза переполнения в результате выпадения интенсивных осадков, осуществляется регулирование по верхнему бьефу.

Реализация схем водорегулирования по гидравлическому принципу в реальных условиях функционирования ГМС на осушительных землях обеспечивается соответствующими средствами гидравлической автоматизации.

16.4. Классификация и конструктивные особенности средств гидравлической автоматизации по основным их признакам

16.4.1. Классификация средств гидравлической автоматизации. Оптимальное регулирование водно-воздушного режима почвы возможно лишь при комплексном подходе, для этого нужно автоматизировать всю технологическую линию управления, как на поле, так и на водопроводной сети. Для выполнения этой задачи нужно оборудовать регулируемую и проводную сеть системы соответствующими техническими средствами – регуляторами.

Разработанные в разное время автоматизированные мелиоративные системы создают благоприятные условия для роста сельскохозяйственных культур благодаря эффективному и точному поддержанию регулируемых параметров на заданных значениях. На автоматизированных мелиоративных системах применяют электрические (на гидротехнических сооружениях магистральных и межхозяйственных каналов) и гидравлические регуляторы (внутрихозяйственная сеть), но, учитывая экономические и социальные факторы, которые сложились в последнее время, целесообразно использовать гидравлические средства для всего цикла регулирования [2, 3, 7, 12, 13, 22, 24, 25, 40, 47].

Обзор существующих автоматизированных мелиоративных систем показывает то, что в современных условиях следует применять комплексный подход к вопросам регулирования водно-воздушного режима [4, 5, 10, 12, 48], а также повышать эффективность систем за счет увеличения точности и быстродействия регулирования уровней воды с учетом различных возмущающих факторов. Кроме того, необходимо использовать простые и надежные средства гидравлической автоматизации, недорогие, со способностью водорегулирования всем технологическим циклом.

Автоматизация водораспределения и регулирования УГВ, а соответственно и поддержания необходимой влажности почв с использованием средств автоматизации осуществляется с помощью таких технологических операций [42]: 1) своевременное прекращение осушения на системе; 2) дополнительное увлажнение осушаемых земель; 3) прекращение дополнительного увлажнения; 4) осушение при поднятии УГВ выше расчетного вследствие выпадения значительных осадков.

За 50 лет создания и функционирования гидромелиоративных систем, в том числе на осушаемых землях в зоне Полесья, было разработано чрезвычайно большое количество регуляторов.

Средства гидравлической автоматизации и сегодня представлены различными типами регуляторов [2, 3, 7, 13, 14, 22, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 44, 47, 47], которые используют энергию перепадов или напоров для автоматической стабилизации уровней, расходов, перепадов, давлений. К ним можно отнести конструкции сооружений, обеспечивающих автоматизацию регулирования без применения каких-либо автоматических регуляторов [9, 48, 49].

Они делятся на:

- регуляторы регулирования уровней в каналах открытой сети (верхнего, нижнего бьефов, смешанного типа, гидравлических перепадов, водостоки и затворы, водосточные сифоны);
- регуляторы расхода на открытой сети (регуляторы расхода);
- регуляторы напоров на закрытой сети (регуляторы напоров в трубопроводах, уровней на водовыпусках в закрытую сеть, уровней грунтовых вод);
- автоматические задвижки на закрытой сети (задвижки и клапаны для стационарных систем, для стабилизации напоров и аварийного отключения).

По литературным источникам [5, 12 и др.] классификация существующих гидравлических средств автоматического регулирования по основным их признакам, применяемых на осушительных и осушительно-увлажнительных системах, представлена на рисунке 16.31.

Для внутрихозяйственной сети осушительных систем и ОУС гидравлические регуляторы делятся по следующим основным признакам: конструктивные особенности; способ воздействия на систему; способ использования энергии. Помимо этого, по способу использования энергии регуляторы делятся на регуляторы прямого и непрямого действия.

Известные на сегодня устройства гидравлической автоматизации позволяют поддерживать заданные значения уровня с погрешностью 5...6 %, большинство из них – регуляторы прямого действия, и регулирование происходит только на одной установленной отметке. При значительных перепадах уровней между верхним и нижним бьефами применение этих устройств усложняется. Кроме того, все регуляторы прямого действия построены по принципу уравнивания моментов или проекции сил от веса конструкции и гидростатического или гидродинамического давления [7, 12, 13, 44]. Они работают преимущественно без подтопления.

В последние годы начали использовать регуляторы непрямого действия. В отличие от регуляторов прямого действия в них исполнительный орган отделен от регулирующего, то есть для движе-

ния затвора используется гидростатическое давление жидкости, а для фиксации регулируемого уровня служит датчик, который подает команду на открытие или закрытие затвора [2, 3, 7, 12, 22, 24, 25, 26, 44, 47 и др.]. Несмотря на некоторую сложность, они более надежны в работе, регулирование уровней происходит с незначительной погрешностью и в значительно более широком диапазоне.

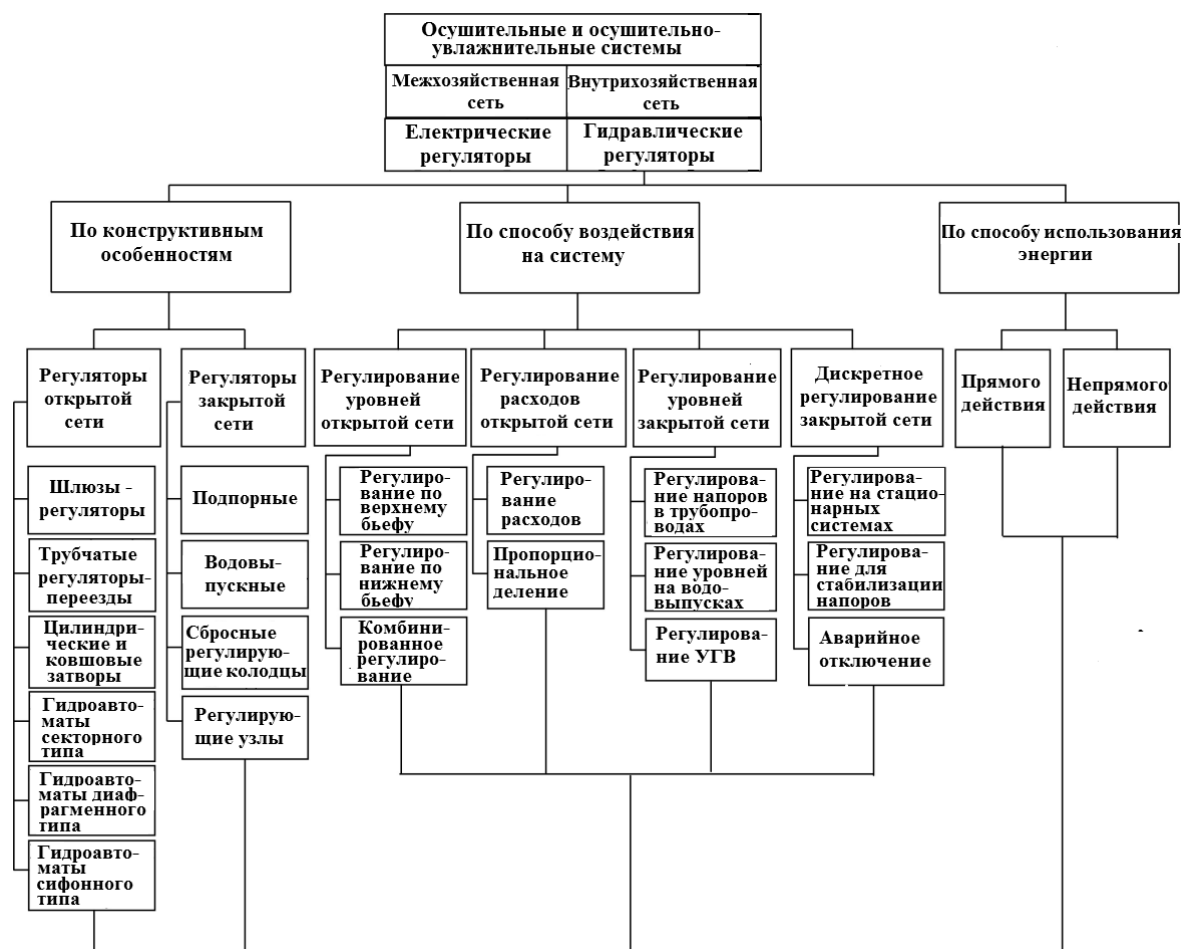


Рис. 16.31. Классификация гидравлических регуляторов на осушительных и осушительно-увлажнительных системах

16.4.2. Конструктивные особенности регуляторов и принципы их действия. Для автоматизации сооружений на каналах оросительных и осушительных систем наиболее распространены *гидроавтоматы коробчатого (ковшового) и шандорного типов* (рис. 16.32, 16.33). Они используются как подпорные сооружения на каналах осушительно-увлажнительной сети с расходами до $5 \text{ м}^3/\text{с}$ и конечные сбросы воды на каналах увлажняющей сети [12], получили наибольшее распространение в практике оросительных и осушительных мелиораций за их простоту и достаточную эффективность.

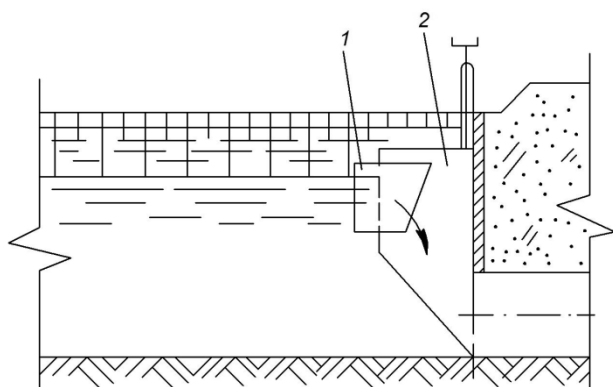


Рис. 16.32. Принципиальная схема регулятора гидравлического действия – затвор коробчатый (ковшовый):

1 – поворотный клапан; 2 – затвор коробчатый в виде ковша

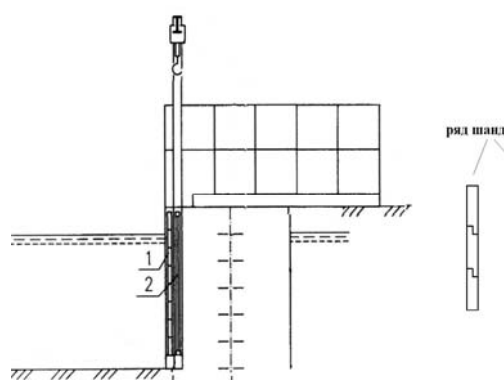


Рис. 16.33. Принципиальная схема регулятора шандорного типа:

1 – шандоры; 2 – металлическая сетка

Затвор коробчатый (ковшовый) с автоматическим вращающимся клапаном (рис. 16.32) выполнен в виде ковша 2, который устанавливается в пазах закладной рамы порталного оголовка, выдвинутого в направлении верхнего бьефа. Передняя грань ковша оборудована поворотным клапаном 1, который обеспечивает поддержание постоянного уровня на заданной отметке. Преимуществами данного регулятора является простота конструкции и возможность установки регулируемого уровня.

На межхозяйственной сети осушительных систем (рис. 16.34) широкое распространение получили сооружения, оборудованные **клапанными затворами** (рис. 16.35). Затвор состоит из поворотного клапана 4, ось вращения которого расположена в нише дна канала, троса 3, барабана 1 и редуктора с приводом 2. Такая конструкция позволяет менять сброс от нулевого до максимального значения.

Клапанный затвор предназначен для работы в двух эксплуатационных режимах: сброс паводка и пропуск избытка воды через верх. Положение затвора регулируют в зависимости от стадии развития сельскохозяйственных культур.

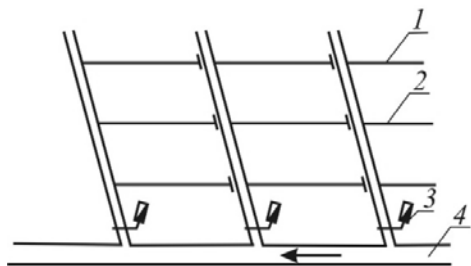


Рис. 16.34. Осушительная система:

- 1 – регулирующая сеть, 2 – ведущие каналы;
- 3 – клапанные затворы; 4 – магистральный канал

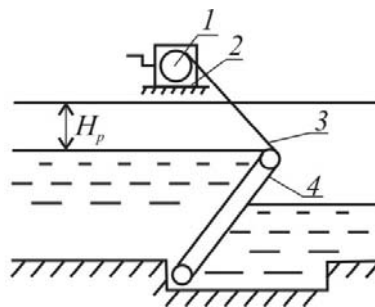


Рис. 16.35. Схема клапанного затвора:

- 1 – барабан и редуктор; 2 – электропривод;
- 3 – трос; 4 – поворотный клапан

Осушительная система с клапанными затворами ограничивает сброс воды из осушительных каналов ниже расчетной отметки H_p , которая соответствует норме осушения. При УГВ меньше H_p под действием гравитационных сил грунтовая вода движется в сторону регулирующей сети 1 и далее в ведущие каналы 2, из которых через клапанные затворы 3 она поступает в магистральный канал 4.

Для регулирования уровня в открытой сети автоматизированных мелиоративных систем используются шлюзы-регуляторы, трубчатые регуляторы-переезды, цилиндрические затворы и гидроавтоматы секторного типа [13, 14]. Большинство таких регуляторов – непрямого действия, для их работы не требуется создавать значительного подпора в верхнем бьефе, кроме того, они имеют простую и надежную конструкцию. При различных типах компоновки датчиков (рис. 16.36, 16.37, 16.38) эти регуляторы применяются для стабилизации уровней воды как в верхнем, так и в нижнем бьефах, они могут осуществлять смешанное регулирование, а также поддерживать постоянные гидравлические перепады [49].

Принцип действия регуляторов секторного типа основывается на наполнении водой и опорожнении рабочей камеры 2 (сектора). Поступление воды в камеру с верхнего бьефа протекает через постоянно открытый проем 3, расположенный на напорной грани, а сток – с помощью сдвоенного сифона 1, который включается в работу при превышении уровня верхнего бьефа выше расчетной отметки. Регуляторы секторного типа имеют ряд преимуществ, это простота конструкции, высокая точность стабилизации уровня и надежность в работе.

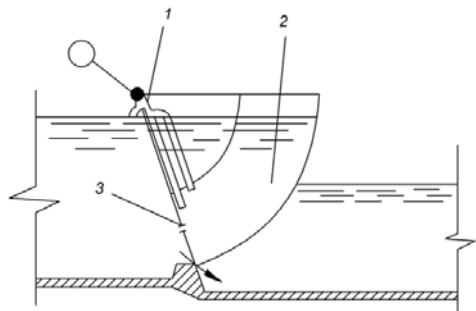


Рис. 16.36. Принципиальная схема регулятора уровня верхнего бьефа секторного типа с сифоном

- 1 – сдвоенный сифон; 2 – рабочая камера;
- 3 – отверстие на напорной грани

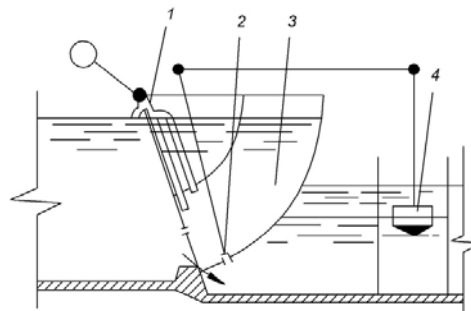


Рис. 23.37. Принципиальная схема регулятора уровня верхнего бьефа с ограничением нижнего секторного типа

- 1 – сдвоенный сифон; 2 – клапан; 3 – рабочая камера;
- 4 – поплавочный датчик

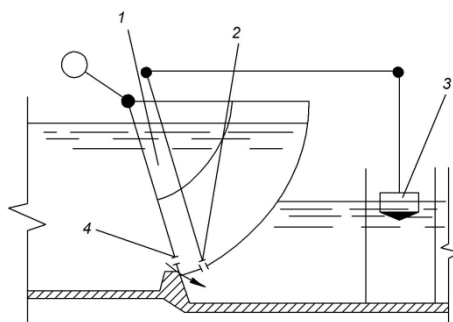


Рис. 16.38. Принципиальная схема регулятора уровня нижнего бьефа секторного типа
 1 – рабочая камера; 2 – клапан; 3 – поплавковый датчик уровня нижнего бьефа; 4 – выходное отверстие

Для относительно больших гидравлических перепадов на мелиоративных системах разработаны сетевые сооружения, оборудованные *автоматическими регуляторами уровня гидравлического действия цилиндрического типа* [13, 14].

На рисунке 16.39 представлена конструктивная схема трубчатого водовыпуска из магистрального канала, которая обеспечивает автоматическое регулирование уровня воды в нижнем бьефе при изменении расхода и уровня воды в верхнем бьефе. Такие системы используют на водовыпусках из магистральных каналов при гидравлических перепадах не менее 0,7 м и расходах до 10 м³/с.

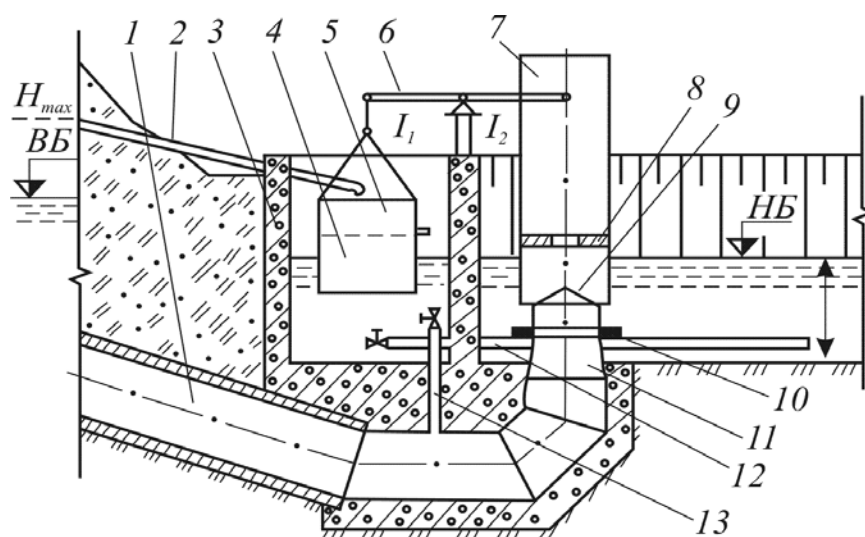


Рис. 16.39. Конструктивная схема системы автоматического регулирования уровня воды

Цилиндрический регулятор уровня воды состоит из трубопровода 1 из конфузора 11 запорного металлического цилиндра 7, который выполняет функцию регулирующего органа, рычага 6 и поплавка 4. В нижней части цилиндра находится диафрагма с центральным отверстием 8, которая выполняет роль демпфера (гидравлическое дифференцирующее звено, гасит колебания цилиндра). Отражатель в виде зонтика 9, который крепится с помощью четырех стоек к фланцу конфузора, увеличивает коэффициент расхода регулятора за счет изменения направления потока воды, выходящей из конфузора. Резиновый уплотнитель 10 обеспечивает необходимую герметичность в закрытом состоянии регулятора.

Измерительный колодец 3 соединен с нижним бьефом трубой 12, а с верхним – трубкой 13. На трубе 12 и трубке 13 установлены вентили выбора режимов работы: при открытом вентиле на трубке 13 и закрытом – на трубе 12 регулятор будет закрытым, так как уровень воды в колодце сравняется с уровнем воды в верхнем бьефе; поплавок поднимется, цилиндр опустится и под действием своего веса плотно закроет конфузор; при открытом вентиле на трубе 12 и закрытом – на трубке 13 регулятор переводится на автоматическое регулирование, потому что уровень воды в колодце и нижнем бьефе будут одинаковыми.

Сверху поплавок имеет пригрузочную камеру 5, которая по трубе 2 наполняется водой, когда уровень воды в верхнем бьефе поднимется до аварийной отметки H_{max} . При наполнении камеры водой вес поплавка увеличивается, что приводит к полному открытию регулятора. В результате сброс воды в нижний бьеф значительно увеличится, тем самым предотвращая переполнение верхнего бье-

фа. Когда уровень воды опустится ниже отметки H_{\max} , вода с пригрузочной камеры постепенно вытечет через небольшое отверстие и регулятор перейдет в режим автоматического регулирования уровня воды в нижнем бьефе.

Принцип действия регулятора заключается в уравнивании моментов, что действуют на рычаг. В установившемся режиме момент от массы поплавка m_n и выталкивающей силы F_n равен моменту от массы цилиндра m_u : $(m_n g - F_n) l_1 = m_u g l_2$, где l_1 и l_2 – плечи рычага.

При изменении потери воды из нижнего бьефа, например, на ΔQ_2 , снижается уровень воды в нем и в измерительном колодце, что приводит к уменьшению силы F_n . Равенство нарушается, и цилиндр начнет перемещаться вверх, увеличивая подачу воды в бьеф. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока не наступит снова равенство моментов. При равенстве моментов цилиндр займет такое положение, при котором расход его увеличится на ΔQ_2 .

Из многих конструкций гидравлических регуляторов, предназначенных для регулирования уровня воды в каналах осушительно-увлажнительных систем, весьма простым и гибким в управлении является *секторный регулятор прислонного типа с переменной массой* (разновидность регулятора Маковского), разработанный в УкрНИИГиМ [2, 3]. Он позволяет осуществлять регулирование по верхнему и нижнему бьефам, а также смешанное регулирование при небольших перепадах уровня воды в бьефах ($\Delta H < 0,7 м$) и расходе до $1 м^3/с$ (рис. 16.40).

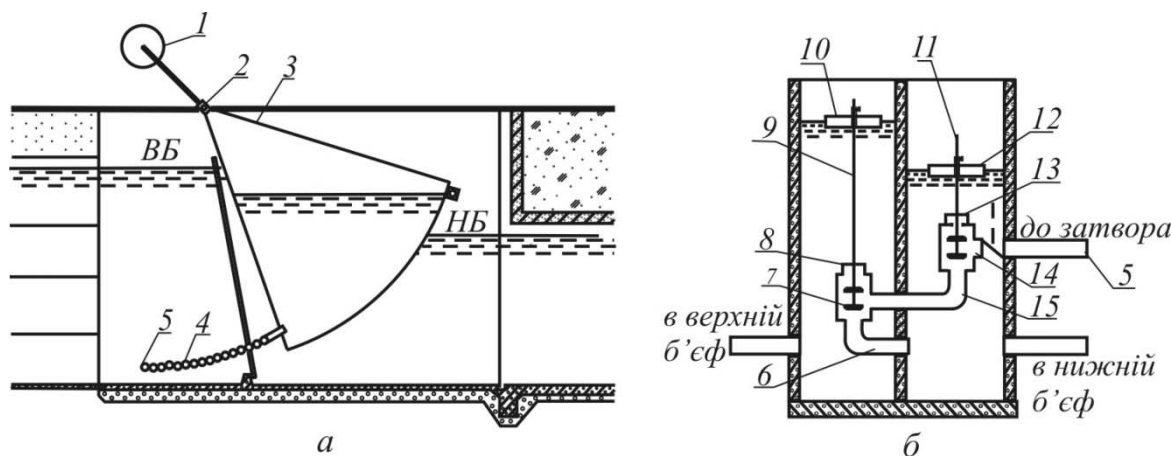


Рис. 16.40. Принципиальные схемы секторного регулятора с переменной массой (а) и управляющего устройства (б)

Секторный затвор 3, частично уравновешенный противовесом 1, закреплен на горизонтальной оси 2. Полость затвора соединена гибким гофрированным шлангом 4 и трубопроводом 5 с клапанной коробкой 14 датчика уровня нижнего бьефа. Кроме того, коробка 14 сообщается через отверстия 13 с нижним бьефом и трубой 15 с клапанной коробкой 7 датчика уровня верхнего бьефа. Отверстие 13 и труба 15 дросселируются клапанами, которые при помощи штанги 1 связаны с поплавком 12. Коробка 7 имеет связь с верхним бьефом через отверстие 8, с нижним – через трубу 6. Клапаны посредством штанги 9 связаны с поплавком 10. Отверстия 8 и 13, которые находятся в верхних частях клапанной коробки, защищены сетками от попадания в коробки плавающего мусора.

Принцип работы регулятора базируется на уравнивании моментов сил, действующих на затвор:

$$M_\partial + M_n = M_z + M_g, \quad (16.38)$$

где M_∂ – момент от силы гидродинамического давления воды на радиальную грань затвора; M_n – момент от веса противовеса; M_z – момент от веса затвора; M_g – момент от веса воды, находящейся в затворе.

Нарушение равенства (16.38) может быть вызвано изменением уровней воды как в нижнем, так и в верхнем бьефе. При этом процесс регулирования зависит от режима работы регулятора, а именно регулирование по нижнему или верхнему бьефам, смешанное регулирование (см. пункт 16.3).

Для автоматического регулирования уровня воды в нижнем бьефе поплавков 10 необходимо отсоединить от штанги 9, а саму штангу зафиксировать в таком положении, в котором нижний клапан

полностью перекрывает трубу 6. При закрытой трубе 6 процесс автоматического регулирования уровня воды в нижнем бьефе протекает следующим образом. Например, при снижении уровня воды в нижнем бьефе, которое пусть будет обусловлено увеличением расхода, поплавков 12 вместе со штангой 11 опустятся, и клапан перекроет выход из трубы 15. Так как уровень воды в затворе выше, чем уровень воды в нижнем бьефе, то вода из затвора через отверстия 13 начнет вытекать в колодец, а из него – в нижний бьеф. В результате момент от массы воды станет меньше, и под действием момента от силы гидродинамического давления M_0 угол открытия затвора увеличится (затвор отклонится вправо), что приведет к увеличению притока воды в нижний бьеф. Уровень воды в нижнем бьефе начнет повышаться, и поплавок с клапаном переместится вверх, уменьшая расход воды через клапанную коробку. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока не наступит снова равенство моментов. При этом расход воды из полости затвора прекращается.

При уменьшении расхода воды из нижнего бьефа уровень в нем будет повышаться, поплавок 12 в штанге 11 поднимет клапан, откроется труба 15, и вода из левого колодца через отверстия 8 будет поступать в затвор. Масса воды будет увеличиваться, что приведет к повороту затвора влево. Процесс закрытия затвора (уменьшение притока) продолжаться до тех пор, пока снова не будет выполнено условие равновесия.

Для перевода регулятора на регулирование уровня воды в верхнем бьефе необходимо зафиксировать шток 11 в верхнем положении. При этом отверстие 13 закрывается, и угол открытия затвора регулятора будет зависеть только от положения поплавка 10.

Процесс регулирования уровня воды в верхнем бьефе происходит так. Пусть уровень воды в верхнем бьефе повысился, тогда поплавок 10 поднимается, отверстие 8 прикрывается, и вода из полости затвора через трубы 5, 15 и 6 поступает в нижний бьеф. Затвор станет легче, под действием гидродинамической силы он отклонится вправо, расход из верхнего бьефа увеличится, и уровень уменьшится. Этот процесс закончится, когда снова наступит равновесие моментов, действующих на затвор. При снижении уровня относительно заданного поплавком 10 отверстия 8 открываются, и вода из колодца через трубы 15 и 5 начнет поступать в затвор, вес его будет увеличиваться, он начнет закрываться, уменьшая утечку воды из верхнего бьефа, что приведет к повышению уровня.

В случае смешанного регулирования приоритетным является регулирование по нижнему бьефу (пункт 16.3). В этом режиме поплавки 10 и 12 задают уровни воды в соответствующих бьефах. Процесс автоматического регулирования уровней происходит так. Пусть уровень воды в нижнем бьефе снизился. Тогда поплавок 12 опускается вместе со штангой 11, клапан закрывает трубу 15 и регулирование осуществляется по нижнему бьефу, как описано выше, независимо от уровня воды в верхнем бьефе. Когда уровень в нижнем бьефе выше заданного, отверстия 13 закрываются и регулятор переходит на регулирование по верхнему бьефу, уменьшая подачу воды в нижний бьеф. Если при этом уровень в нижнем бьефе станет ниже заданного, то регулятор снова переходит на регулирование по нижнему бьефу.

При уровне воды в верхнем бьефе выше заданного под действием поплавка 10 закрываются отверстия 8 и независимо от уровня в нижнем бьефе происходит открытие затвора, но вода из него будет вытекать через трубу 5 и клапанные коробки в нижний бьеф. Следовательно, ни при каких обстоятельствах переполнения верхнего бьефа не будет.

Быстродействие данного регулятора зависит от диаметра труб 5, 15 и 6 и коэффициента гидравлического сопротивления клапанных коробок. По данным УкрНИИГиМ, для секторных затворов с радиусом обшивки $R = 2,1...2,7$ м и шириной водослива $a = 1,0...1,5$ м диаметры труб принимают в пределах $0,05...0,12$ м.

Выбирая диаметр соединительных труб, необходимо знать, что с его увеличением будет увеличиваться быстродействие системы автоматического регулирования и снижаться устойчивость ее работы, что при ограниченном перемещении клапанов может привести к возникновению автоколебаний. Предотвратить это можно с помощью задвижки на трубе 5, открытием которой менять гидравлическое сопротивление, его величина будет определять быстродействие системы регулирования и предотвращать автоколебания затвора.

Автоматические регуляторы и сооружения закрытой регулирующей сети ОУС делятся на подпорные, водовыпускные и сбросные регулирующие колодцы и распределительные узлы. Регуляторы устанавливаются в железобетонных колодцах, расположенных на коллекторах и в устьевых сооружениях. На сегодняшний день существует большое количество гидроавтоматов для закрытой сети, они отличаются друг от друга принципом действия, конструкцией, точностью регулирования и надежностью. Наибольшее распространение получили регуляторы прямого действия типа АРУ (АРУ-100, АРУ-200, АРУ-900 и др.) (А. Ф. Рубан) [44], Они используются для оборудования закрытой про-

точной регулирующей сети, а также для открытой сети в коробах шлюзов-регуляторов типа РТП-100. Конструкции этих регуляторов позволяют поддерживать заданные уровни регулирования стока и водоподачи, но они требуют ручной настройки режимов работы и не учитывают влияние возмущающих факторов.

Для регулирования уровня воды ОУС с расходами $0,03...0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ и перепадом уровней $0,1...1,2 \text{ м}$ используют поплавковые регуляторы уровня прямого действия различных конструкций, в частности автоматический регулятор уровня АРУ-200, который устанавливают в середине коробчатого затвора на действующих шлюзах-регуляторах, как показано на рис. 16.41.

Для включения регулятора в работу поплавков 6 необходимо зафиксировать винтом на тяге 5 так, чтобы линия его погружения в закрытом состоянии цилиндрического затвора 2 совпадала с заданной отметкой уровня воды в нижнем бьефе канала.

При снижении уровня воды в нижнем бьефе поплавков 6 опустится вместе с тягой 5, которая вернет Г-образный рычаг 4, который своим коротким плечом, входящим в отверстие направляющей вилки 3, смещает ее вправо, а с ней и затвор 2, который открывает водовыпускные окна в стенке корпуса регулятора 1. Вода начнет поступать в нижний бьеф, и уровень в нем начнет повышаться. Равновесие наступит тогда, когда подача воды в бьеф сравняется с расходом из него.

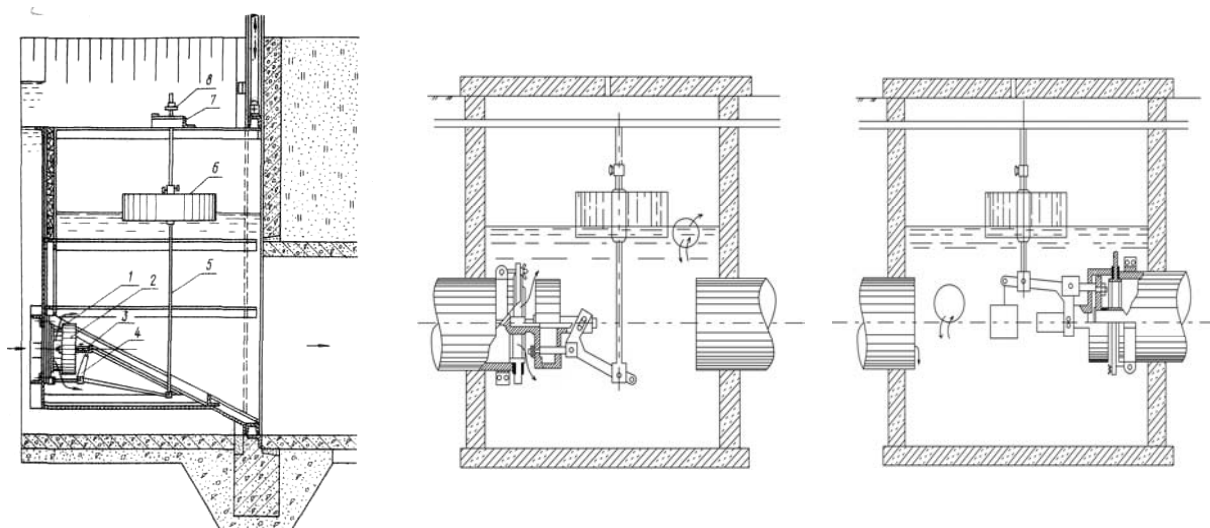


Рис. 16.41. Автоматический регулятор уровня воды АРУ-200

1 – корпус; 2 – затвор; 3 – направляющая втулка; 4 – Г-образный рычаг; 5 – тяга; 6 – поплавок; 7 – кронштейн; 8 – стопорная планшайба

При повышении уровня воды в нижнем бьефе поплавков 6 поднимается, перемещая рычажно-передающую систему в обратном направлении, а с ней вместе и затвор, который будет прикрывать отверстия в корпусе. И снова равновесие наступит при таком положении затвора, когда подача воды в бьеф станет равной расходу из него.

Изменение уровня воды в нижнем бьефе осуществляют перемещением поплавка 6 относительно тяги 5. Для закрытия регулятора стопорную планшайбу закручивают до упора с кронштейном 7.

Расход воды в открытом состоянии регулятора АРУ-200 зависит от перепада уровней.

На водовыпусках из трубопроводов в увлажняющие каналы и водозаборные колодцы устанавливают *мембранные регуляторы уровня непрямого действия* (рис. 16.42) [7]. Регуляторы обеспечивают высокую точность стабилизации уровня при значительном диапазоне регулирования и имеют высокую эксплуатационную надежность вследствие отсутствия трения в подвижных элементах и не замутнения рабочих камер.

Регулятор состоит из подводного патрубка 1, к которому с помощью четырех ребер крепится надмембранная камера 4. Между патрубком и верхом камеры может перемещаться гибкая мембрана 3, к которой крепится клапан 2 с уплотнительной прокладкой. Вода из подводного патрубка поступает в надмембранную камеру по соединительной трубке 7 и в сопло 9 по гибкой трубке 8 в зависимости от величины щели между соплом и резиновой заслонкой, которая жестко связана с поплавком. Поплавок может перемещаться в камере, положение которой регулируется с помощью штанги 6. Уровень воды в колодце задается перемещением поплавковой камеры. Принцип действия мембранного регулятора построен на уравнивании сил, действующих на клапан, положение которого определяет расход регулятора.

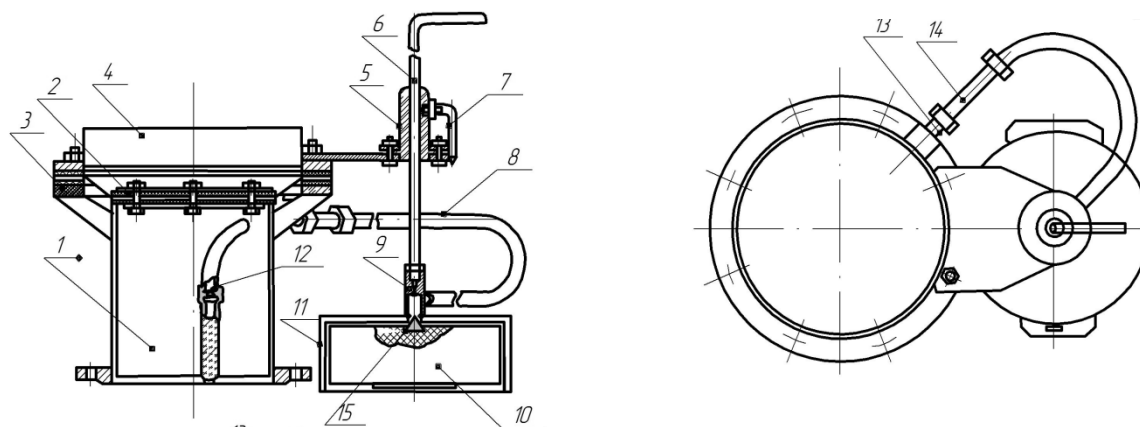


Рис. 16.42. Мембранный гидравлический регулятор уровня непрямого действия:

1 – патрубок; 2 – клапан; 3 – мембрана; 4 – рабочая камера; 5 – втулка; 6 – штанга; 7 – зажимной винт; 8 – сливная трубка; 9 – сопло; 10 – поплавок; 11 – демпфирующая камера; 12 – соединительная трубка; 13 – дроссельная трубка; 14 – трубка; 15 – конусный клапан поплавка

Принцип работы мембранного регулятора основан на уравнивании сил, действующих на клапан, положение которого определяет расход регулятора. В установившемся режиме со стороны патрубка на клапан действует сила

$$F_1 = \frac{\pi d^2}{4} P + F_2, \quad (16.39)$$

где d – диаметр патрубка, м; P – давление в патрубке, Па; F_2 – сила гидродинамического давления, Н.

Сила гидродинамического давления

$$F_2 = \rho v Q_1, \quad (16.40)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; v – средняя скорость воды в патрубках, м/с; Q_1 – расход регулятора, м³/с.

Со стороны надмембранной камеры на клапан действует сила

$$F_2 = \frac{\pi d_{кл}^2}{4} P_k + F_m + m_{кл} g, \quad (16.41)$$

где $d_{кл}$ – диаметр клапана, м; P_k – давление в камере, Па; F_m – сила, передается на клапан от части мембраны, которая находится между клапаном и корпусом камеры, Н; $m_{кл}$ – масса клапана, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

В установившемся режиме

$$F_1 = F_2. \quad (16.42)$$

Равенство (16.42) воспроизводится за счет изменения давления в надмембранной камере, которое зависит от величины промежутка между соплом и заслонкой и расходы Q_1 , так как

$$F_2 = \rho v Q_1 = \frac{4Q_1^2}{\pi d^2}.$$

Для конкретных модулей ОУС рассчитываются конструктивные параметры мембранных регуляторов и указываются средства, с помощью которых можно изменять переходные процессы в системе автоматического регулирования уровня воды в увлажняющем колодце.

С целью повышения технического уровня внутрихозяйственной сети и обеспечения эффективного управления водным режимом на осушаемых землях ИГиМ УААН разработаны *технологические схемы водорегулирования на дренажно-коллекторной сети и технические средства автоматизации* [47, 48], которые обеспечивают практическую реализацию способа подпочвенного увлажнения.

На дренажно-увлажняющих коллекторах рекомендуется применять схему регулирования УГВ по верхнему бьефу с обратной связью (см. 16.3) с источником воды для ее подачи на увлажнение в засушливые периоды. Для ее практической реализации в смотровых колодцах в устье коллектора и в его голове устанавливаются регуляторы УГВ и водоподачи (рис. 16.43) Эта технологическая схема водорегулирования обеспечивает рациональное использование воды для увлажнения, аккумуляцию местного дренажного стока и защиту рек-водоприемников от загрязнения пестицидами, ядохимикатами, которые выносятся дренажными водами с осушаемых земель.

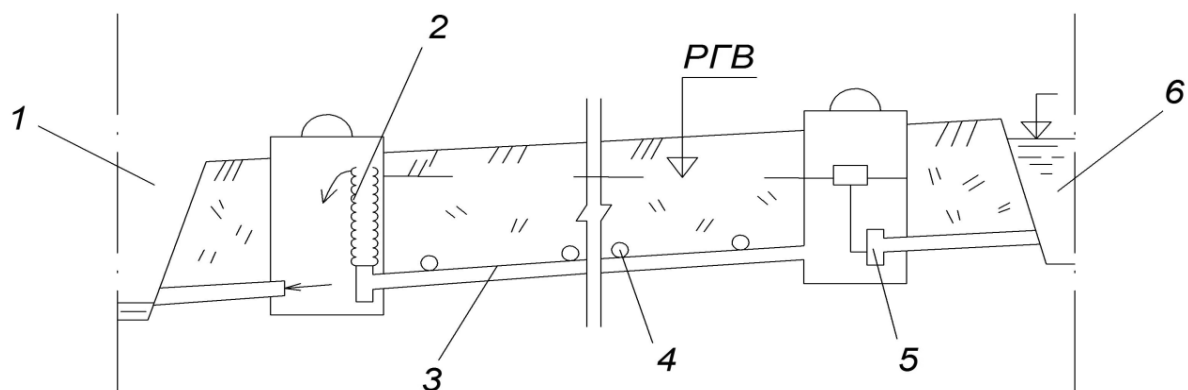


Рис. 16.43. Технологическая схема регулирования уровня грунтовых вод в увлажняющих коллекторах по верхнему бьефу с обратной связью:

- 1 – дренажный коллектор; 2 – регулятор уровня грунтовых вод; 3 – увлажняющий коллектор; 4 – дрены;
5 – регулятор водоподачи; 6 – увлажняющий канал

На рисунке 16.44 приведена схема установки регулятора УГВ в колодце, который расположен в устье дренажного или дренажно-увлажняющего коллектора.

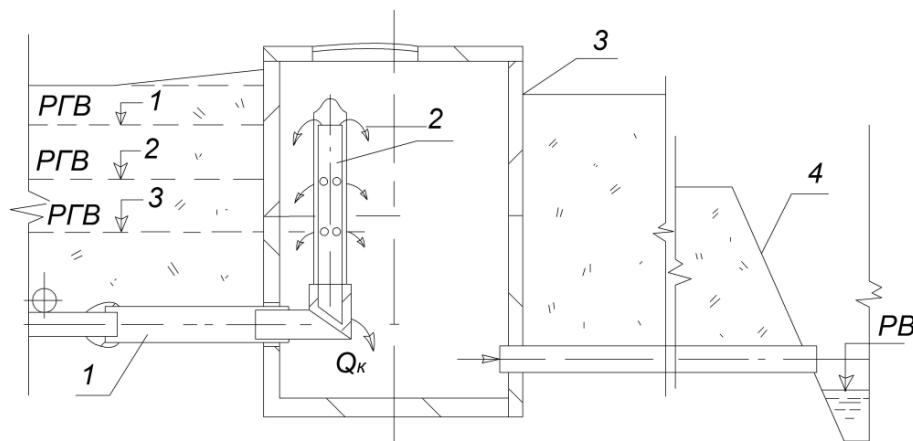


Рис. 16.44. Типичная схема установки регулятора уровня грунтовых вод:

- 1 – дренажный коллектор; 2 – регулятор уровня грунтовых вод; 3 – колодец; 4 – сбросной канал

Регулятор состоит из корпуса, вертикальной трубы диаметром 100 мм с водовыпускными отверстиями по высоте и поворотного рукава. Все детали регулятора изготавливаются из полиэтилена. Масса регулятора составляет от 6 до 8 кг в зависимости от глубины заложения коллектора. Регулятор устанавливают на коллекторах диаметром от 100 до 150 мм, что обеспечивает дискретное регулирование УГВ в 3–4 диапазонах, сброс избыточных вод с осушаемой территории в зоне действия коллектора и автоматическое регулирование заданного УГВ в течение вегетационного периода.

Принцип работы регулятора при отводе избыточных вод в осенне-весенний период заключается в перемещении вертикальной трубы вверх, что приводит к открытию водовыпускных отверстий в корпусе регулятора и сброса дренажных вод в сбросной канал.

В ИГиМ УААН разработан комплект конструкторской документации, изготовлены опытные образцы, проведена их апробация в производственных условиях на осушительно-увлажнительной системе в пойме р. Стугна в Обуховском районе Киевской области. Для автоматизации процесса управления режимом уровня воды на осушительно-увлажнительной сети в истоках, устьях, а при необходимости и по трассе коллектора устанавливаются различного типа дренажные колодцы, которые оборудуются регуляторами гидравлического действия (рис. 16.45) [4, 12, 47, 48].

Для оборудования колодцев, которые устанавливают в истоках закрытых коллекторов диаметром 100...200 мм, предлагается регулятор водоподачи диафрагменного типа (рис. 16.45, а), предназначенный для подачи воды из увлажнительных каналов или низконапорных трубопроводов и автоматического поддержания в колодце постоянного уровня воды независимо от изменения напора на его входы и величины водозабора из колодца.

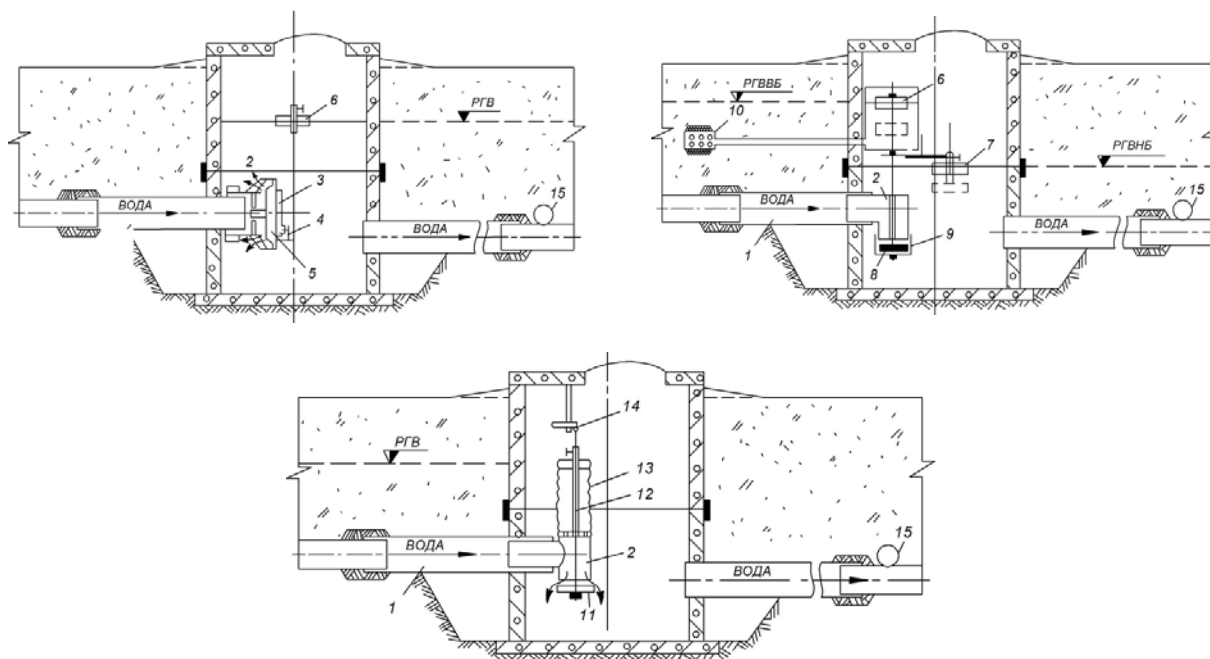


Рис. 16.45. Схемы регуляторов гидравлического действия для закрытых коллекторов осушительно-увлажнительной сети:

а – регулятор водоподдачи диафрагменного типа; б – регулятор дренажного стока; в – УГВ;

- 1 – дренажный коллектор; 2 – корпус регулятора; 3 – наддиафрагменная камера; 4 – клапан;
 5 – диафрагма; 6 – поплавок; 7 – датчик ограничения минимального уровня воды 8 – опорный диск;
 9 – запорный цилиндр; 10 – фильтр; 11 – тарельчатый клапан; 12 – штанга; 13 – гибкий рукав
 14 – подъемник; 15 – дрена

Принцип действия регулятора основан на регулировании давления в наддиафрагменной камере 3 за счет заполнения ее водой или опорожнения через выпускное отверстие, которое перекрывается клапаном 4. При изменении давления в наддиафрагменной камере за счет сил, действующих на диафрагму 5 из стороны водоподводящей трубы и камеры, осуществляется ее перемещение и, таким образом, регулируется нормированная подача воды в колодец. Регулятор водоподдачи диафрагменного типа надежен в работе, точность стабилизации уровня воды составляет $\pm 1...2$ см.

Промежуточные колодцы на увлажняющих коллекторах с регулировкой по верхнему бьефу с ограничением нижнего (см. пункт 16.3) оборудуются регуляторами дренажного стока, схема которого изображена на рисунке 16.45, б. Регулятор дренажного стока характеризуется универсальностью использования, так как может выполнять функции как регулятора водоподдачи, так и регулятора подъема УГВ.

В первом случае регулятор используется без поплавка 6 и трубчатого фильтра 10, а во втором – без поплавка 7 уровня воды в колодце. Принцип действия регулятора заключается в том, что при повышении УГВ, в период выпадения интенсивных осадков, вода сквозь трубчатый фильтр 10 поступает в камеру регулирующего устройства, где размещен поплавок 6, что приводит к повышению в ней уровня воды и перемещения вверх поплавка 6 и связанного с ним вертикальным штоком запорного цилиндра 9. При этом регулятор открывается, и вода поступает в колодец. По мере снижения УГВ камера регулирующего устройства автоматически опорожняется, и регулятор постепенно закрывается. При снижении заданного уровня воды в колодце, а соответственно и УГВ ниже заданной отметки, управление запорным цилиндром 9 осуществляется под влиянием реагирования поплавка 7 независимо от положения поплавка 6. Такое конструктивное решение обеспечивает нормированную водоподдачу и автоматическое непрерывное регулирование расчетного УГВ в зоне действия данного колодца.

Колодцы в устьевой части коллектора оборудуются регуляторами подпора УГВ тарельчатого типа (рис. 16.45, в). При работе дренажного коллектора в режиме отвода избыточной воды с осушаемого массива тарельчатый клапан 11 открыт для пропуска воды в сбросной канал. При работе дренажного коллектора 1 в режиме увлажнения тарельчатый клапан с помощью подъемного механизма 14 закрывается, а верхняя кромка подвижного гибкого рукава 13 устанавливается в зависимости от величины сбросного расхода в зоне действия дренажного коллектора. При этом в коллекторе создается подпор, и вода, поступающая из увлажняющего канала в устье коллектора, распределяется по

дренам 15 и за счет ее инфильтрации через стыки дрен происходит подъем УГВ до расчетной отметки. В случае незапланированного повышения УГВ из-за выпадения интенсивных атмосферных осадков осуществляется сброс избыточной воды в колодец через верх гибкого рукава.

В научно-исследовательских лабораториях Национального университета водного хозяйства и природопользования (НУВХП) разработана *целая серия гидравлических регуляторов для водорегулирования на проточных и тупиковых сетях ОУС* [22, 25]. В частности, на системах с проточной сетью регулирования устанавливают гидрорегуляторы водоподачи и дренажного стока (рис. 16.46), которые обеспечивают подачу воды на увлажнение или регулируют сток воды из коллекторов с помощью подпора.

Разработанные гидрорегуляторы состоят из запорного органа клиновидного типа с эластичной рабочей камерой, чувствительного элемента поплавково-клапанного типа и осадкомера. Гидрорегулятор дренажного стока (рис. 16.46, а) состоит из запорного органа 1, который изготовлен из прорезиненной ткани и закреплен с помощью кронштейна 2 в водовыпускной трубе.

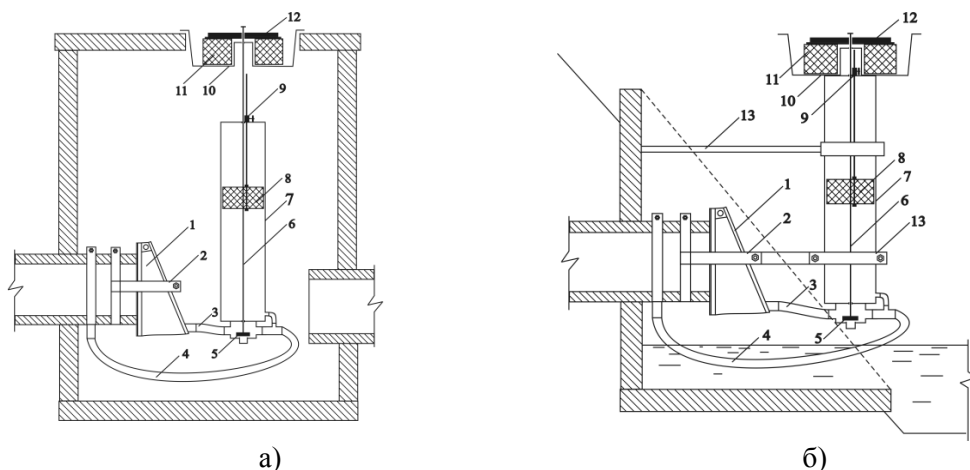


Рис. 16.46. Гидравлический регулятор дренажного стока:
а) в колодце; б) на выходном оголовке коллектора (без колодца):

1 – запорный орган; 2 – кронштейн для крепления запорного органа на водовыпускной трубе; 3 – соединительный шланг; 4 – шланг для соединения рабочей камеры запорного органа из верхнего бьефа; 5 – регулирующий клапан; 6 – тяга регулирующего клапана; 7 – труба; 8 – поплавок; 9 – настроечный механизм; 10 – осадкомер; 11 – поплавок осадкомера; 12 – груз для регулировки веса поплавка осадкомера; 13 – крепление трубы 7

Рабочая камера запорного органа шлангом 3 соединена с клапанной коробкой. Клапан 5 соединен тягой 6 с поплавком 8, который находится в трубе 7. С помощью настроечного механизма 9 поплавок 8 крепится на заданный уровень верхнего бьефа. Шланг 4 соединяет рабочую камеру запорного органа с верхним бьефом. В крышке колодца вмонтирован осадкомер 10, в котором размещен поплавок 11, нагруженный грузом 12.

В обычном режиме (подпор) запорный орган 1 закрыт. Когда УГВ поднимается, поплавок 8 всплывает и через тягу 6 открывает клапан 5, вода из рабочей камеры 1 сливается, и отверстие водовыпускной трубы открывается. После снижения УГВ проходит обратный процесс.

Для открытия водовыпускной трубы при выпадении критической нормы осадков в крышке колодца установлен осадкомер 10, после превышения заданного уровня воды в камере осадкомера поплавок 11 всплывает и через тягу 6 открывает клапан 5. При этом вода сливается из рабочей камеры запорного органа, и водовыпускная труба открывается. Регулировка срабатывания осадкомера при установленном количестве осадков осуществляется с помощью груза 12. При испарении воды из камеры осадкомера клапан 5 возвращается в исходное положение.

Для уменьшения затрат на строительство колодца предусмотрена возможность монтажа гидрорегулятора непосредственно на выходных оголовках коллекторов в канале (рис. 16.46, б). Для этого труба 7 закрепляется с помощью креплений 13, а сверху устанавливается осадкомер.

Гидрорегулятор водоподачи (рис. 16.47) состоит из запорного органа 1, который закреплен на водовыпускной трубе с помощью кронштейнов 3 и 2.

Шланг 4 соединяет верхний и нижний бьефы гидрорегулятора. Клапанная коробка оборудована клапаном 6, который открывается и закреплен на трубке 7, в ее середине находится тяга 8. На стояк 9 надета труба 10, которая служит для установки поплавка 11 на заданный уровень регулирования. В верхней части трубы 10 к трубке 7 и тяги 8 прикреплен упор 12. В крышке колодца вмонтирован осадкомер 13, поплавок 14 которого соединен с тягой 8. Регулирование всплытия поплавка 14 при

заданном количестве осадков происходит с помощью груза 15. При регулировании водоподачи уровень воды в канале выше отметки установки поплавка 11, клапан 6 закрыт и запорный орган 1 перекрывает отверстие водовыпускной трубы. Когда уровень воды в колодце снижается, то поплавок 11 опускается, освобождая упор 12, что вызывает открытие клапана 6. Равновесие системы нарушается, когда вода вытекает из запорного органа, что приводит к открытию водовыпускной трубы. Этот режим актуален при наполнении колодца, после чего процесс повторяется снова. При выпадении установленной величины критических осадков срабатывает осадкомер 13.

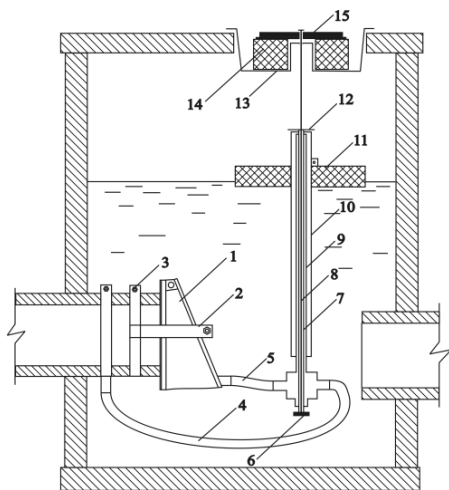


Рис. 16.47. Гидравлический регулятор водоподачи: 1 – запорный орган; 2, 3 – кронштейны крепления запорного органа; 4 – шланг для соединения рабочей камеры запорного органа с верхним бьефом; 5 – соединительный шланг; 6 – регулировочный клапан; 7 – труба; 8 – тяга регулирующего клапана; 9 – стойка; 10 – труба крепления поплавка; 11 – поплавок; 12 – упор; 13 – осадкомер; 14 – поплавок осадкомера; 15 – груз для регулировки веса поплавка осадкомера

Гидравлические регуляторы водорегулирования на тупиковых и открытых каналах. На массивах, где невозможно обеспечить строительство проточной сети, строят тупиковые ветки, которые оборудуются регуляторами двустороннего действия, что обеспечивает регулирование уровня в двух режимах (увлажнение и осушение), а также осуществляют автоматическое переключение режимов (рис. 16.48).

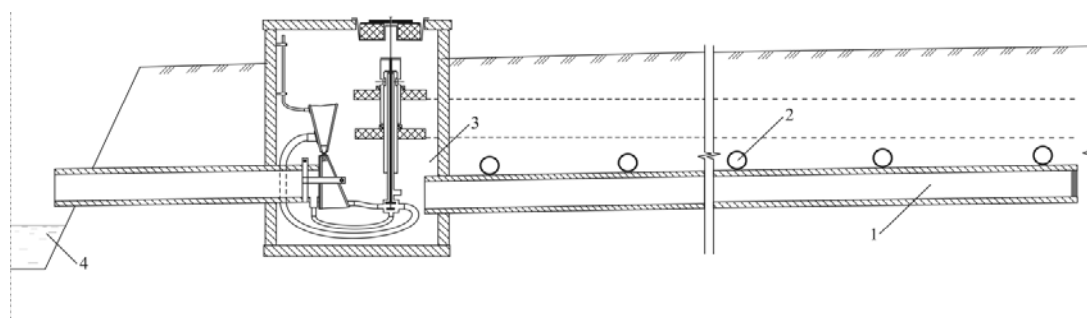


Рис. 16.48. Схема регулирования УГВ на тупиковой сети с использованием гидрорегулятора двустороннего действия:

1 – коллектор; 2 – дренаж; 3 – гидрорегулятор двустороннего действия; 4 – осушительно-увлажнительный канал

На рисунке 16.49 показана схема гидрорегулятора двустороннего действия, который устанавливается в регулирующем колодце 1, на водовыпускной трубе 2, на которой смонтирован запорный орган 3 с усиливающей камерой 9.

Чувствительный элемент 4 состоит из двухклапанной коробки 13, вертикального стояка 23, телескопических трубок 21 и 22, двух поплавков 25 и 26 и осадкомера 28.

В начальный период вегетации и в послепаводковые периоды гидрорегулятор работает в режиме задержки дренажного стока. Уровень воды в канале при этом ниже отметки установки поплавка 25. Клапан 15 под действием собственного веса перекрывает патрубок шланга 32, а клапан 16 открыт. При наличии дренажного стока вода поступает через патрубок 30 в полость камеры 5, которая рабочей пластиной 6 прикрывает водовыпускную трубу 2 и по мере повышения уровня в колодце вода прижимает ее к водовыпускной трубе и через шланг 12 заходит в полость усиливающей камеры 9, герметизируя систему. При увеличении уровня поднимается трубка 21 и упор 19 открывает клапан 15. Открытие клапана 15 приводит к сливанию воды из камер 5 и 9, но диаметр шланга 12 больше диаметра шланга 11, так вытекание воды из камеры 9 проходит значительно быстрее, чем с камеры 5. Это приводит к возникновению разницы внешнего давления воды в колодце и внутреннего в камере 9, и образуется момент, который стремится открыть запорный орган 3. В результате происходит пе-

ремещение пластин 10 и 6 и открытие водовыпускной трубы. При снижении уровня в колодце клапан 15 закрывается и процесс повторяется. Таким образом, в колодце поддерживается уровень, заданный на отметке установки поплавка 25.

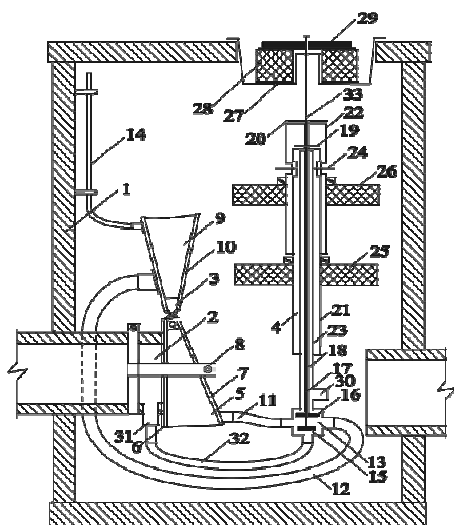


Рис. 16.49. Гидрорегулятор двустороннего действия:

1 – регулировочный колодец; 2 – водовыпускная труба; 3 – запорный орган; 4 – чувствительный элемент; 5 – рабочая камера запорного органа; 6, 7 – подвижная и неподвижная пластины запорного органа; 8 – кронштейны для крепления запорного органа; 9 – усилительная камера; 10 – подвижная пластина усилительной камеры; 11 – соединительный шланг; 12 – шланг для соединения камеры 9 с клапанной коробкой; 13 – клапанная коробка; 14 – аэрационная трубка; 15, 16 – регулировочные клапаны; 17, 18 – тяги клапанов; 19, 20 – упоры; 21, 22 – трубы для установки поплавков; 23 – стойка; 24 – упор для удержания телескопических трубок и поплавков; 25, 26 – поплавки для установления уровня дренирования и шлюзования; 27 – осадкомер; 28 – поплавок осадкомера; 29 – груз поплавка осадкомера; 30 – соединительный патрубок; 31 – патрубок для закрепления соединительного шланга; 32 – соединительный шланг рабочей камеры 5 с водовыпускной трубой; 33 – тяга поплавка осадкомера

В режиме шлюзования в канале создается напор выше отметки поплавка 26. Поскольку клапан 16 при этом открыт, то под действием гидростатического давления со стороны канала вода вытесняется из полости камер 5 и 9, в результате этого водовыпускная труба 2 открывается. Уровень в колодце продолжает расти, поплавок 25 всплывает и открывает клапан 15, но поскольку клапан 16 открыт, то водовыпускная труба 2 остается открытой. Это обусловлено тем, что в данном режиме гидравлическое сопротивление канала является большим, чем сопротивление патрубка 30. При достижении уровнем отметки поплавка 26 последний всплывает, поднимает трубку 22, упор 20, и клапан 16 закрывается, это приводит к заполнению камер 5 и 9 и закрытию водовыпускной трубы 2. При снижении уровня поплавок 26 опускается и клапан 16 открывается, вода вытесняется из камер 5 и 9, и водовыпускная труба открывается. Таким образом обеспечивается поддержка заданного значения уровня воды в колодце в режиме увлажнения.

При работе гидрорегулятора в двух режимах его конструкция обеспечивает открытие водовыпускной трубы при выпадении критической нормы осадков. При этом поплавок 28 осадкомера 27 всплывает и тяга 33 поднимает упоры 19 и 20, обеспечивая открытие клапана 15 и закрытия 16. В результате происходит сливание воды из камер 5 и 9 и водовыпускная труба открывается. В режиме дренажного стока обеспечивается снижение УГВ за счет стока воды в канал, в режиме шлюзования происходит аналогичный процесс, но уровень в канале выше уровня в колодце, поэтому для снижения УГВ необходимо остановить увлажнение и снизить уровень в канале. Закрытие водовыпускной трубы происходит только после испарения воды из камеры осадкомера.

Для увеличения производительности работы осушительно-увлажнительной сети проектируют системы с отдельно расположенной осушительной и увлажнительной частью системы, что позволяет эффективно проводить как увлажнение, так и осушение. На таких системах вода для увлажнения подается с подводного канала через колодцы-регуляторы (установленные в верхней части дренажной системы) в закрытые увлажняющие коллекторы, а оттуда в дрены, которые выполняют функцию осушителей и увлажнителей. При этом в коллекторах создается подпор воды с помощью гидравлических регуляторов дренажного стока, которые установлены в нижних колодцах (рис. 16.50 а). Во влажные периоды года на системе верхние колодцы-регуляторы с гидрорегуляторами водоподдачи перекрываются, а нижние с гидрорегуляторами дренажного стока открываются, и вода по дренам свободно вытекает в открытые каналы (рис. 16.50 б).

Средства для автоматизированного водорегулирования на автономных управляемых модулях. Реализация автономного водорегулирования на ОУС требует использования средств гидравлической автоматизации, то есть в современных условиях следует эффективно подходить к вопросу регулирования водно-воздушного режима, необходимо использовать средства гидравлической автоматизации со способностью оперативного водорегулирования на каждом модуле. Оперативное регулирование УГВ, а значит, поддержание необходимой влажности почвы с использованием средств автоматизации осуществляется следующим образом: дополнительное увлажнение осушаемых земель, прекращение дополнительного увлажнения, своевременное прекращение осушительного действия системы, осушение при поднятии УГВ выше расчетного вследствие выпадения значительных осадков.

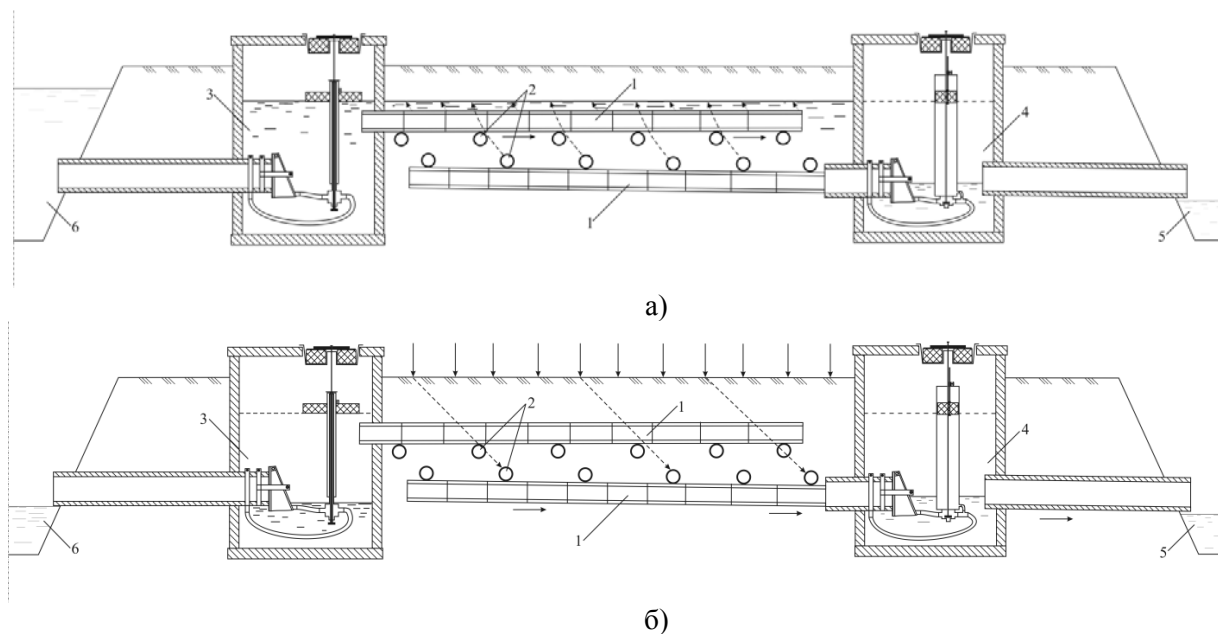


Рис. 16.50. Схема коллекторно-дренажной сети с отдельным размещением дрен и гидрорегуляторами

а) режим увлажнения; б) режим осушения:

1 – коллектор; 2 – дренаж; 3 – регулятор водоподдачи; 4 – регулятор дренажного стока; 5 – осушительный канал; 6 – увлажнительный канал

Большое количество регуляторов позволяет осуществлять регулирование при осушении и при увлажнении, но они имеют существенный недостаток – неспособность оперативно и самостоятельно анализировать состояние системы, а именно одновременно контролировать уровень воды в колодце, фактический УГВ на модуле, влажность почвы, температуру, скорость, влажность воздуха, рассчитывать суммарное испарение и, как следствие, формировать задачи для управления УГВ с целью поддержания оптимального диапазона изменения влажности корнеобитаемого слоя почвы. Кроме того, уровень воды в колодце не всегда адекватно отражает УГВ на массиве, снижает точность регулирования влажности.

Влажность определяется величиной суммарного испарения растений и фазой их развития, что приводит к необходимости на протяжении вегетационного периода с определенной периодичностью менять отметки установки регулятора, то есть в ручном режиме изменять положение поплавка на штангах. Такую же операцию необходимо выполнять при реализации форсированных режимов регулирования уровня. Все это повышает эксплуатационные затраты и снижает надежность работы системы.

Таким образом, при проектировании и реконструкции ОУС нужно учитывать режимы их работы и способы водорегулирования, а также использовать такие средства, которые могли бы эффективно осуществлять процесс регулирования на протяжении всего периода вегетации с высокой точностью, были менее инерционными и которые самостоятельно по показаниям датчиков рассчитывали режим регулирования уровня воды в колодце.

В научно-исследовательских лабораториях Национального университета водного хозяйства и природопользования разработана конструкция гидрорегулятора с исполнительным механизмом непрямого действия путем расширения его функциональных возможностей на основе принципа ситуационного управления, что позволяет, в отличие от существующего, организовать контроль и его работу по заданному алгоритму управления и тем самым обеспечить необходимый уровень точности и скорости изменения регулируемых параметров и эффективности водорегулирования на каждом модуле ОУС, который он обслуживает (рис. 16.51) [24, 26].

Регулятор установлен в регулирующем колодце 1 и содержит размещенный на коллекторе 2 запорный орган 3 и датчик уровня 4. Датчик уровня находится в трубе 5, которая через электромагнитный клапан (ЭК) 6 гидравлически связана с колодцем, а через ЭК 7 и трубу с фильтром 8 и грунтовым массивом. Запорный орган содержит эластичные клиновидные камеры, которые связаны с коллектором 2, а через ЭК 15 и 16 – с колодцем. Камера 10 через шланг с ЭК 17 связана с атмосферой. Датчик уровня 4 электрически связан с входным портом, который оборудован беспроводным интерфейсом связи микропроцессорного регулятора 18, до входных портов которого подключены также датчики количества осадков 19, температуры 20, влажности воздуха 21 и скорости ветра 22. Выход-

ные порты микроконтроллера электрически связаны и управляют состоянием электромагнитных клапанов 6, 7, 11, 12, 15, 16 и 17.

В зависимости от вида выращиваемых на модуле сельскохозяйственных культур, схемы увлажнения, времени вегетации и погодных условий регулятор может работать в различных режимах. Регулирование уровня грунтовых вод на модуле может осуществляться либо путем задержки дренажного стока в начальные периоды вегетации или в последождливые периоды, или путем подачи воды на увлажнение с канала через коллектор 2. Микропроцессорный регулятор 18 с использованием данных о температуре, влажности воздуха и скорости ветра по методике [23] рассчитывает суммарное испарение сельскохозяйственных культур, выращиваемых на модуле. В дальнейшем микропроцессорный регулятор с использованием решений уравнения влагопереноса в зоне аэрации рассчитывает значение УГВ, которое обеспечивает оптимальный диапазон влажности корнеобитаемого слоя почвы при заданном значении суммарного испарения. Рассчитанное значение уровня грунтовых вод является задачей для регулятора, которая обеспечивается путем управления состоянием запорного органа 3.

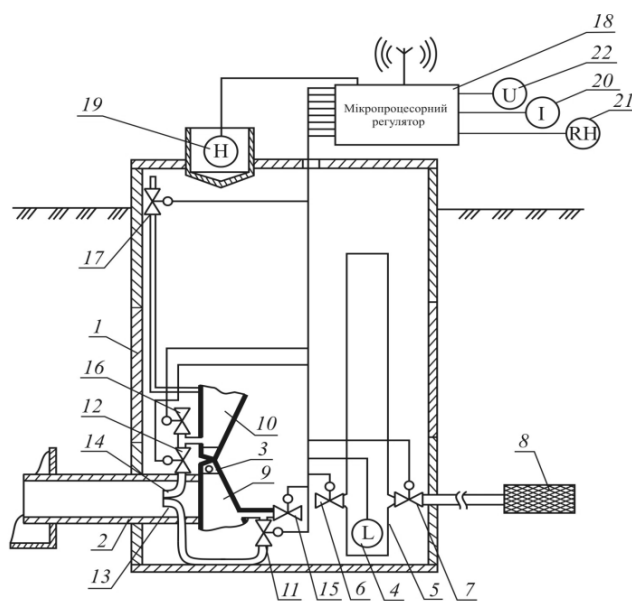


Рис. 16.51. Программируемый гидрорегулятор УГВ двустороннего действия:

1 – регулирующий колодец; 2 – коллектор; 3 – запорный орган; 4 – датчик уровня; 5 – труба; 6, 7, 11, 12, 15, 16, 17 – электромагнитные клапаны; 8 – труба с фильтром; 9, 10 – камеры; 13, 14 – трубки; 18 – микропроцессорный блок; 19 – датчик количества осадков; 20 – датчик температуры; 21 – датчик влажности воздуха; 22 – датчик скорости ветра

В режиме задержки дренажного стока микропроцессорный регулятор открывает ЭК 7 и закрывает ЭК 6. Если уровень в трубе 5 по показаниям датчика 4 ниже заданного, то микропроцессорный регулятор закрывает ЭК 11 и ЭК 12 и открывает ЭК 15, ЭК 16, ЭК 17. При этом вода из колодца через ЭК 15 и ЭК 16 поступает в камеры 9 и 10, в результате чего запорный орган перекрывает отверстие коллектора и происходит задержка дренажного стока. Если уровень в трубе 5 выше заданного, то микропроцессорный регулятор закрывает ЭК 15 и ЭК 16 и открывает ЭК 11, ЭК 12 и ЭК 17. Вода через ЭК 11 и ЭК 12 начинает сливаться с камер 9 и 10. При истечении воды из камеры 10 возникает разница внешнего давления воды в колодце и внутреннего в камере 10, которое создает усилие и начинает открывать запорный орган. При прохождении воды из колодца через коллектор 2 в трубах 13 и 14 возникает эффект эжекции, что ускоряет слив воды из камер 9 и 10, уменьшая инерционность открытия запорного органа. Через заданное время, которое определяется объемом камеры 10, микропроцессорный регулятор закрывает ЭК 17 и в обеих камерах за счет эжекции поддерживается разрежение, обеспечивающее надежное открытие запорного органа в этом режиме.

При работе регулятора в режиме водоподачи от канала микропроцессорный регулятор закрывает ЭК 7 и открывает ЭК 6, тем самым рассчитывая значение уровня воды в колодце и режима его изменения, обеспечивая регулирование уровня в колодце по показаниям датчика уровня 4. В процессе регулирования уровня, если его значение ниже заданного, микропроцессорный регулятор открывает ЭК 15, ЭК 16 и ЭК 17 и закрывает ЭК 11 и ЭК 12. При этом запорный орган открыт. Если уровень в колодце выше заданного, то микропроцессорный регулятор открывает ЭК 11, ЭК 17 и закрывает ЭК 12, ЭК 15, ЭК 16, закрывая тем самым запорный орган.

При работе регулятора в любом режиме микропроцессорное устройство по показаниям датчика 19 постоянно анализирует количество осадков и, сравнивая это значение с аккумулярующей способностью зоны аэрации, принимает решение о продлении или изменении режима управления уровнем грунтовых вод, соответственно меняя режим работы запорного органа. Беспроводной интерфейс регулятора обеспечивает возможность обмена информацией между регулятором влажности и диспетчерским пунктом.

Техническая реализация системы управления предполагает разработку и использование автоматических регуляторов уровней воды в дренажных колодцах и каналах.

На тупиковых и проточных коллекторно-дренажных мелиоративных системах целесообразно использовать гидравлические регуляторы двустороннего действия (рис. 16.51): регуляторы водоподдачи (РВ) (рис. 16.52 а) и регуляторы дренажного стока (РДС) (рис. 16.52 б), которые оснащены микропроцессорными блоками управления.

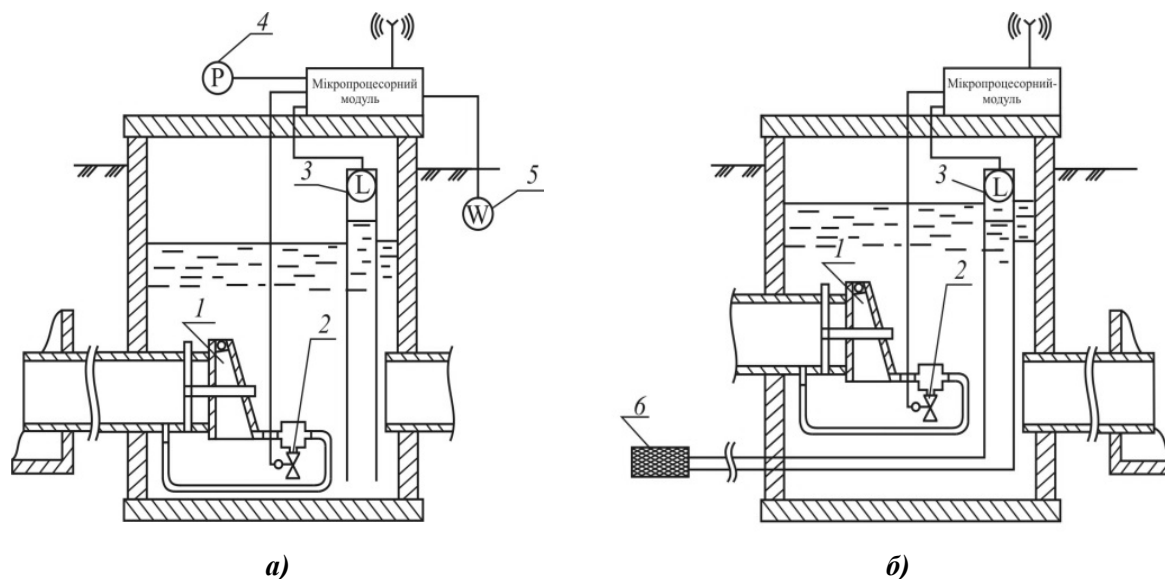


Рис. 16.52. Гидрорегуляторы водоподдачи (а) и дренажного стока (б)

1 – запорный орган; 2 – электромагнитный клапан; 3 – уровнемер; 4 – осадкомер; 5 – датчик влажности почвы; 6 – фильтр

Блок управления гидрорегулятором открывает и закрывает запорный орган гидрорегулятора с помощью электромагнитного клапана, который представляет собой бистабильный запорный орган и потребляет энергию только при переключении. Для связи между силовой цепью соленоида клапана и цепью управления используется твердотельное реле. Для связи с диспетчерской используется GSM-модем с интерфейсом.

Разработанная конструкция регулятора влажности почвы обеспечивает уменьшение инерционности процесса регулирования уровня воды в колодце, повышение надежности работы запорного органа, снижение эксплуатационных затрат, повышение точности регулирования влажности почвы.

Микропроцессорный блок гидравлического регулятора предлагается выполнить в унифицированном корпусе с возможностью монтажа на DIN-рейку. Основой конструкции является соединение двух микроконтроллеров. Такая конструкция позволяет уменьшить энергозатраты при эксплуатации системы. В процессе работы основной контроллер находится в спящем режиме (режим «SLEEP»). В случае необходимости изменения задающего параметра синхронизирующий первый контроллер подает «сигнал пробуждения» на второй контроллер, который считывает все контролируемые параметры и передает на измерительную станцию, принимает от диспетчерского пункта новое значение УГВ и, при необходимости, меняет логические уровни сигналов на линиях, контролируемых состоянием электромагнитных клапанов. После проведенной работы основной контроллер переводится в режим «SLEEP». Для сохранения значений логических уровней на выходах микроконтроллера предусмотрены базовые логические элементы – триггеры. Контроль за состоянием управляющих линий выполняет синхронизирующий контроллер.

Микропроцессорный блок измерительной станции предлагается выполнить на основе микроконтроллера, к аналоговым входам которого подключены датчики температуры и влажности воздуха, осадкомер. В микроконтроллере аппаратно присутствует интерфейс для возможности подключения

радиомодема или GSM модема. Для синхронизации используется внутренний генератор. Также есть возможность подключения пульта оператора для контроля и налаживания необходимых параметров. Предусмотрена и возможность ручного задания параметров.

Предложенные регуляторы работают по разным схемам управления (пункт 16.3) водным режимом в зависимости от места их расположения.

Для автоматизированного водорегулирования и обеспечения нормальной водоподачи с увлажняющих каналов на массивах с уклоном не более $i = 0,003$ применяют схему регулирования по нижнему бьефу (рис. 16.53), а схему регулирования по верхнему бьефу применяют на массивах с уклоном $i = 0,002...0,005$ на почвах различного механического состава.

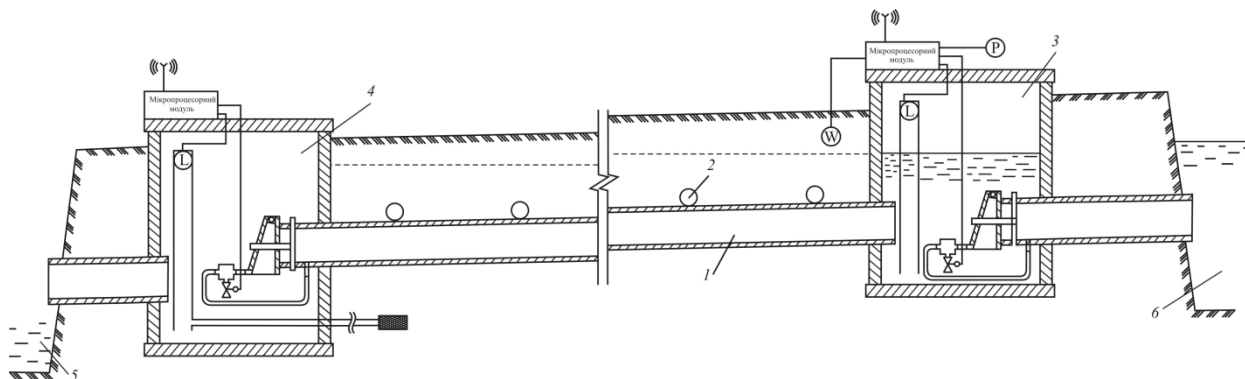


Рис. 16.53. Схема управления водным режимом с использованием гидрорегуляторов водоподачи и дренажного стока на ОУС модульного типа:

1 – коллектор; 2 – дренаж; 3 – регулятор водоподачи; 4 – регулятор дренажного стока; 5 – осушительный канал; 6 – увлажняющий канал

Конструктивно программируемые гидрорегуляторы УГВ имеют небольшое количество элементов, что улучшает их надежность. Кроме того, они оборудованы одинаковыми запорными органами, что позволяет уменьшить затраты на их изготовление и эксплуатацию. Следует отметить, что применение технических средств гидравлической автоматизации на ОУС модульного типа дает возможность повысить технический уровень эксплуатации мелиоративных систем.

16.5. Способы использования гидравлических регуляторов на типичных схемах осушительных систем

По принципу работы ОУС делятся на водооборотные, системы с водорегулирующими узлами и системы с русловыми шлюзами-регуляторами. Наиболее эффективными являются водооборотные системы, которые позволяют аккумулировать местный сток и при необходимости использовать его при увлажнении.

По размещению на плане различают следующие типы ОУС [8]:

- 1) с подачей воды в устье дренажных коллекторов (против наклона коллекторов и дрен) с помощью подпора в каналах проводной сети;
- 2) с подачей воды в истоки дренажных коллекторов (по уклону коллекторов и против наклона дрен) с увлажняющих каналов;
- 3) с подачей воды в истоки дрен (по уклону коллекторов и дрен) с увлажняющих коллекторов.

Наиболее технологичным с точки зрения оперативности и качества регулирования является 3-й тип, но на ОУС могут быть совмещены все три типа одновременно. На сегодня существуют следующие виды конструкций регулирующей сети с материальными дренами:

- с одиночными дренами;
- с коллекторно-дренажной сетью;
- с бесколлекторной дренажной круговой сетью.

Дренаж на ОУС в зависимости от гидрогеологических условий может быть проточным и тупиковым. Конструкция проточного дренажа, которая регулируется с открытых каналов, представлена на рисунке 16.54, такой дренаж обладает высокой надежностью в работе и прост в исполнении. Дренажную схему с проточных отдельных дрен наиболее целесообразно оборудовать гидрорегуляторами двустороннего действия, которые монтируются в коробчатых затворах в шлюзах-регуляторах на магистральном канале (МК) и гидрорегуляторами дренажного стока на регулирующем канале (РК) (рис. 16.54 а). Если система запроектирована на почвах легкого механического состава, тогда желательно

применять схемы с тупиковым безнаклонным или малонаклонным дренажом (рис. 16.54). Регулирование УГВ на таких системах осуществляется так же, как и на проточных схемах.

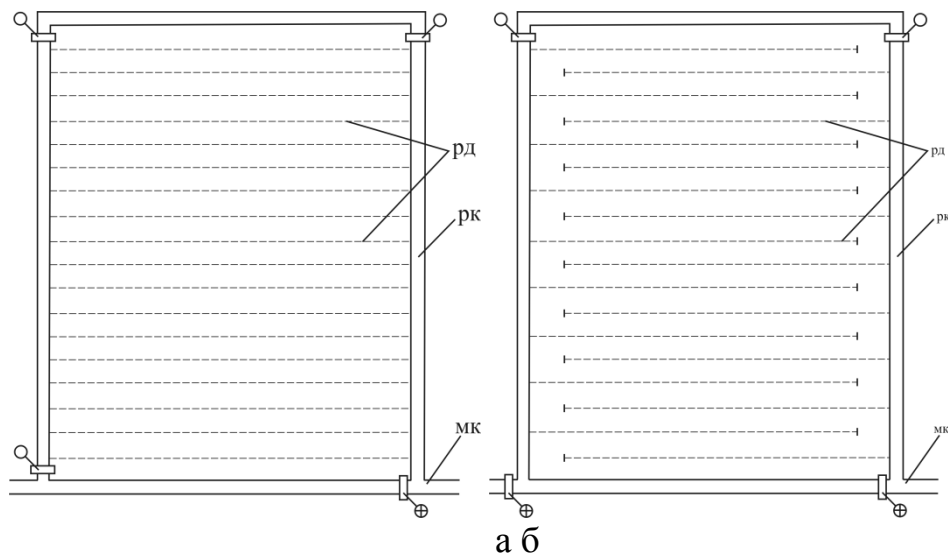


Рис. 16.54. Схема обустройства гидроавтоматами дренажного модуля с проточными одиночными (а) и тупиковыми (б) дренами

Конструкция дренажа с бесколлекторной кольцевой сетью (рис. 16.55 а) используется для повышения надежности и увеличения термина эксплуатации ОУС, средства автоматизации на этой сети устанавливаются аналогично схеме на рисунке 16.55, а.

Похожая схема регулирующей сети представлена рисунке 16.55 б, но в ней, в отличие от предыдущей, используется конструкция коллекторной кольцевой сети, что позволяет улучшить условия эксплуатации и повысить эффективность работы сети в целом. На таких системах устанавливают гидрорегуляторы двустороннего действия в коробчатых затворах шлюзов-регуляторов на МК, гидрорегуляторы водоподачи в колодцах в начале коллекторов и гидрорегуляторы дренажного стока в конце коллекторов в колодцах, или на водовыпускных трубах коллекторов.

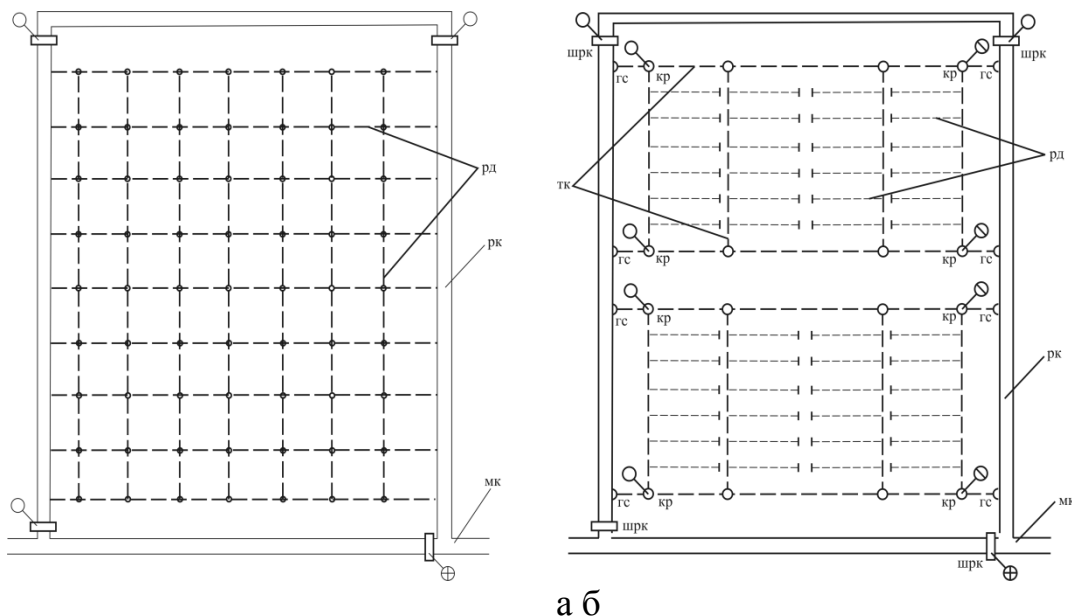


Рис. 16.55. Схема обустройства гидроавтоматами дренажного модуля с кольцевыми регулирующими дренами (а) и кольцевыми коллекторами (б)

В случае если на межканальной карте используются севообороты с независимым водным режимом, тогда применяются конструкции систем, на которых регулирующая сеть выполнена из малонаклонных и безнаклонных дрен (рис. 16.56 а, б).

На многих системах использование проточного дренажа по определенным причинам невозможно, тогда применяют тупиковый дренаж (рис. 16.57 а, б). На таких системах рекомендуется устанавливать гидрорегуляторы двустороннего действия на МК и в колодцах регулирующих коллекто-

ров, это обеспечит регулирование заданных УГВ при осушении и при увлажнении, с возможностью автоматического перехода из одного режима в другой. На ДК устанавливаются гидрорегуляторы дренажного стока для поддержания регулируемых уровней по всей длине.

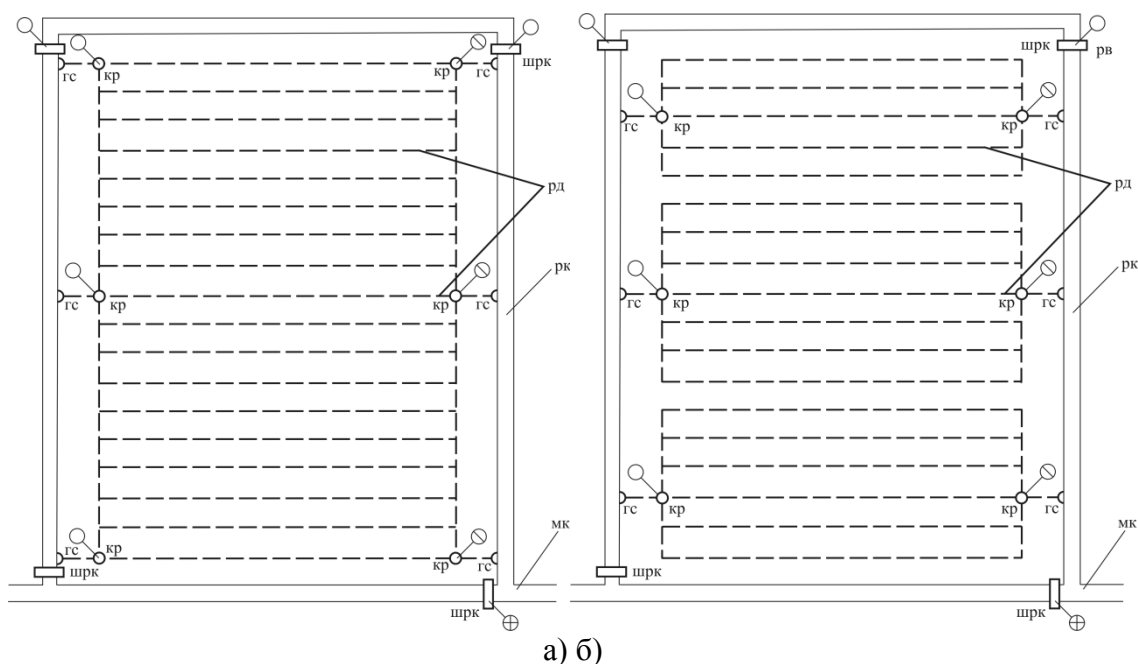


Рис. 16.56. Схема обустройства гидроавтоматами дренажного модуля с проточными (а) и сгруппированными проточными (б) дренами

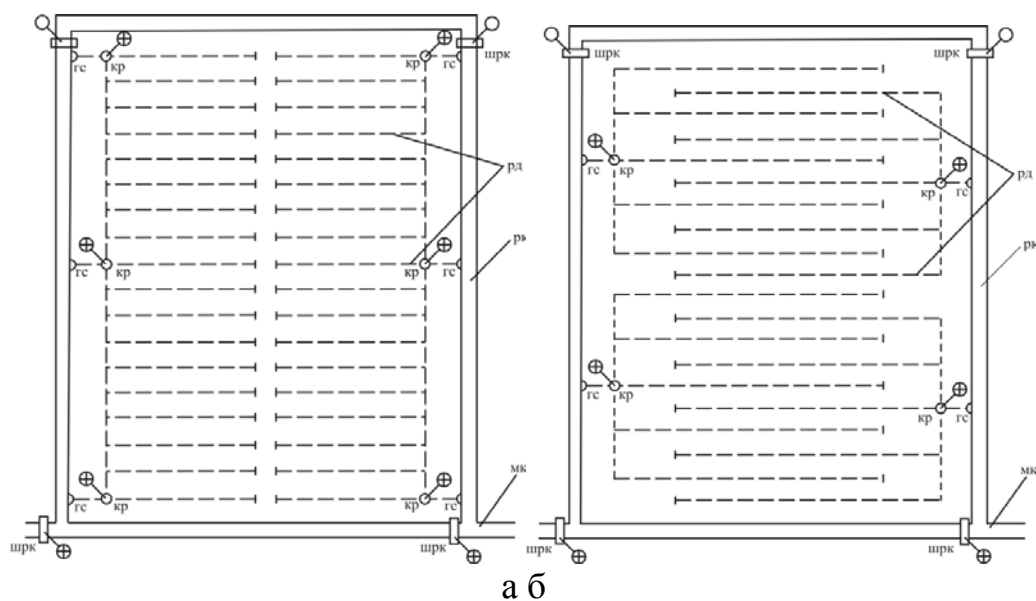


Рис. 16.57. Схема обустройства гидроавтоматами дренажного модуля с тупиковыми (а) и сгруппированными тупиковыми дренами (б)

Для участков с развитым рельефом строят системы с длинными коллекторами без уклона или с малым уклоном и короткими дренами (рис. 16.58 а, б). Регулирование УГВ на таких системах осуществляется аналогично схемам, изображенным на рисунках 16.58 и 16.5). На рисунках 16.55–16.59 использованы следующие условные обозначения: ○ – гидрорегулятор дренажного стока; ○ – гидрорегулятор водоподачи; ⊕ – гидрорегулятор двустороннего действия.

Варианты установки средств гидроавтоматизации рекомендуются для использования в реконструируемых и проектируемых системах. Разработанные средства автоматизации могут быть использованы во всех производственных операциях и обеспечивать дифференцированное регулирование водно-воздушного режима каждого поля запроектированного севооборота.

Проведенные исследования показали, что типовые схемы водорегулирования могут быть оборудованы современными автоматическими гидрорегуляторами, при этом не нужно проводить рекон-

струкцию системы, а достаточно использовать существующую инфраструктуру регулирующих колодцев и шлюзов регуляторов. В свою очередь, это позволит повысить эффективность водорегулирования в целом без значительных капиталовложений на реконструкцию и модернизацию.

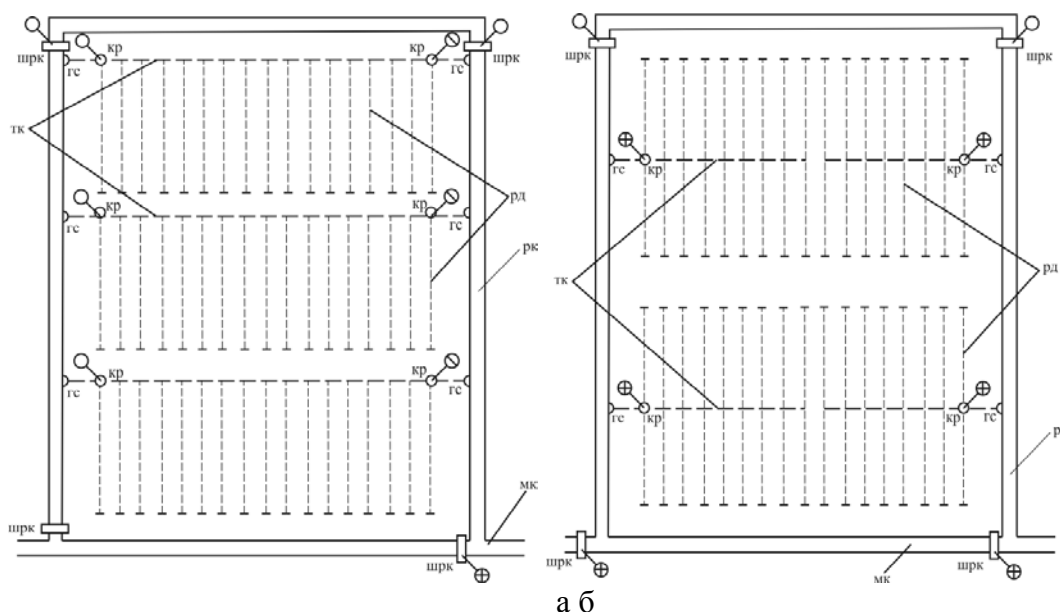


Рис. 16.59. Схема обустройства гидроавтоматами дренажного модуля с проточными (а) и с тупиковыми (б) коллекторами и дренами

Технологическая, экономическая и экологическая эффективность от внедрения автоматизации водорегулирования осушаемых земель в зоне Полесья путем использования соответствующих схем и средств гидроавтоматизации на открытой и закрытой сети различных типов и конструкций осушительных систем определяется повышением точности требуемых параметров водорегулирования и его эффективности в целом, рациональным использованием водных ресурсов, повышением производительности осушаемых земель за счет увеличения урожая выращиваемых сельскохозяйственных культур, поддержанием благоприятного эколого-мелиоративного состояния в рамках системы и на прилегающих территориях.

Литература

1. Оперативное регулирование водного режима торфяных почв / Г. И. Афанасик [и др.] // Конструкции и методы расчёта мелиоративных систем : сб. науч. тр. БелНИИМиВХ. – Минск, 1985. – С. 59–63.
2. Балан Ю. А. Гидравлические регуляторы уровней воды в каналах осушительно-увлажнительной сети // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 4. – С. 57–60.
3. Цилиндрические затворы-гидроавтоматы непрямого действия / Ю. А. Балан [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – Вып. 1. – С. 50–52.
4. Баховец Б. А. Основи автоматики і автоматизація виробничих процесів в гідромелиорації. – Рівне: УДАВГ, 1997. – 167 с.
5. Бочаров С. Ю. Автоматизация водорегулирующих комплексов. – Ровно. : Изд-во РГТУ, 2000. – 110 с.
6. Бочаров С. Ю., Сорока І. С. Автоматичне управління водним режимом ґрунту на осушувально-зволожувальних системах з машинним водо підйомом // Мелиорация і водне господарство: міжвідомчий тематичний науковий збірник. – 1996. – К. : Аграрна наука. – Вип. 82. – С. 13–20.
7. Бочаров С. Ю. Устройства автоматики на гидромелиоративных системах // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – Приложение. – 64 с.
8. Закржевський П. І. Расчет режима уровней грунтовых вод и дренажного стоку на осушаемой территории // Сб. науч. тр. БелНИИМиВХ. – 1986. – С. 22–30.
9. Зубец В. М., Сельченко В. П., Мордухович Б. Ш. Автоматизация управления водным режимом на осушительно-увлажнительных системах // Мелиорация переувлажненных земель : труды. – Т. XXVI. – Минск: Ураджай, 1978. – С. 3–10.
10. Ивицкий А. И. Основы проектирования и расчетов осушительных и осушительно-увлажнительных систем. – Минск: Наука и техника, 1988. – 311 с.
11. Информационно-советующая система управления орошением / под ред. В. П. Остапчика. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.
12. Коваленко П. И. Автоматизация мелиоративных систем. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
13. Коваленко П. И. Исследование устройств для автоматического регулирования уровней воды в каналах оросительных систем (на примере Украинской ССР) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ровно, 1970. – 29 с.

14. Коваленко П. И., Тугай А. М. Мелиоративные гидротехнические сооружения. – Киев: Будывельник, 1974. – 144 с.
15. Коваленко П. И., Попов В. М. Управління водорозподільними системами за принципами ресурсо- та енергозаощадження. – Киев: Аграрна наука, 2011. – 368 с.
16. Системна оптимізація водокористування при зрошенні : монографія / П. І. Ковальчук [та ін.]. – Рівне: НУВГП, 2008. – 204 с.
17. Кумачёв В. И. Исследование мелиоративного участка болота как объекта автоматического регулирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / В.И. Кумачев. – Минск: БелНИИМиВХ, 1975. – 28 с.
18. Матус С. К. Моделирование динамики влагозапасов в почве // Мелиорация и водное хозяйство XXI века. Наука и образование : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Горки, 2009. – С. 104–107.
19. Матус С. К. SWAP – модель визначення вологості ґрунту та динаміка вологозапасів на осушуваних землях // Актуальні проблеми та перспективи розвитку водного господарства і меліорації : зб. матеріалів Між-нар. наук.-практ. конф. (Україна, Херсон, 26–29 серпня 2009). – Херсон, 2009. – С. 117–119.
20. Мордухович Б.Ш. К теории расчета и проектирования автоматизированных осушительно-увлажнительных систем // Конструкции и методы расчета мелиоративных систем : сб. науч. тр. БНИИМиВХ. – Минск, 1985. – С. 47–59.
21. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. – Киев. : Наук. думка, 1987. – 280 с.
22. Пастушенко В. Й., Наумчук О. М. Використання автоматичних гідрорегуляторів на закритій та відкритій регулюючих мережах осушувально-зволожувальних систем // Меліорація і водне господарство : зб. наук. праць. – 2006. – Вип. № 93–94. – С. 170–177.
23. Пастушенко В. Й., Матус С. К. Інформаційне забезпечення систем управління вологозабезпеченістю на осушувально-зволожувальних системах з підґрунтовым зволоженням // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 2(38). – С. 123–130.
24. Пастушенко В. Й., Матус С. К. Технічна структура автоматизованих систем керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на осушувально-зволожувальних системах з підґрунтовым зволоженням // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 3(39). – С. 319–326.
25. Патент 46792 Україна, Е02В11/00. Регулятор двосторонньої дії / В. Й. Пастушенко, Б. О. Баховець, О.М. Наумчук (Україна). – № 98041889; Заявл. 14.04.98; Опубл. 17.06.02. – Бюл. № 6. – 3 с.
26. Патент на корисну модель 03637 Україна, G05D 22/00. Регулятор вологості кореневого шару ґрунту / В. Й. Пастушенко, С. К. Матус, А. М. Стеценко (Україна). – № 26737; 10.10.2007. Бюл. № 16.
27. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М. : Наука, 1989. – 304 с.
28. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. – 2-е вид. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
29. Регулятор дренажного стока: А.с. 1408014 (СССР), Е 02 В 11/00/ Г. Н. Бурдинский, В. Н. Бурдинский, В. Н. Шерстенников (СССР). – 3958295/30-15; Заявл. 27.09.85; Опубл. 07.07.88, Бюл. №25. – 2 с.: ил.
30. Регулятор подпора воды в дрене: А.с. 1731899 (СССР), Е 02 В 11/00/ Ю. В. Олейник, А. А. Коренев (СССР). – 4730526/15; Заявл. 14.06.89; Опубл. 07.05.92, Бюл. № 17. – 4 с.: ил.
31. Регулятор стока: А.с. 1062339 СССР, Е 02 В 11/00 / Б. А. Баховец, В. И. Пастушенко, Я. В. Ткачук, С. Ю. Бочаров (СССР). – 3491058/29-15; Заявл. 10.09.82; Опубл. 23.12.83, Бюл. № 47. – 3 с.: ил.
32. Регулятор уровня воды в бьефах гидротехнических сооружений: А.с. 1038928 СССР, G 05 D 9/02 / Ю. А. Балан (СССР). – 3404879/18-24; Заявл. 12.03.82; Опубл. 30.08.83, Бюл. № 32. – 6 с.: ил.
33. Регулятор уровня грунтовых вод: А.с. 1196446 (СССР), Е 02 В 11/00/ П. А. Марюшин, В. Я. Жукинский, В. Е. Богуславский, И. Д. Капчук (СССР). – 3758867/30-15; Заявл. 20.06.84; Опубл. 07.12.85, Бюл. № 45. – 2 с.:ил.
34. Регулятор уровня грунтовых вод: А.с. 1477829 СССР, Е 02 В 11/00/ О. В. Скрипник, В. А. Николайчук, И. С. Сорока (СССР). – 4271511/30-15; Заявл. 11.05.87; Опубл. 07.05.89, Бюл. № 17. – 4 с.: ил.
35. Регулятор уровня грунтовых вод: А.с. 1541346 СССР, Е 02 В 11/00 / Р. Самадов, О. К. Комилов, Р. Орипов, Г. Худойназаров, С. М. Икрамов (СССР). – 4334598/30-15; Заявл. 14.10.87; Опубл. 07.02.90, Бюл. № 5. – 3 с.: ил.
36. Регулятор уровня грунтовых вод: А.с. 1618830 (СССР), Е 02 В 11/00/ М. М. Танклевский, А. М. Танклевский (СССР). – 4657444/15; Заявл. 30.01.89; Опубл. 07.01.91, Бюл. № 1. – 2 с.: ил.
37. Регулятор уровня грунтовых вод: А.с. 1645360 (СССР), Е 02 В 11/00 / Г. К. Чайка (СССР). – 4491538/15; Заявл. 10.10.88; Опубл. 30.04.91, Бюл. № 16. – 4 с.: ил.
38. Регулятор уровня грунтовых вод: А.с. 763519 СССР, М.Кл. Е 02 В 11/00 G 05 В 11/60 / Б. И. Чалый, А. А. Чекурда (СССР). – № 2629112/30-15; Заявл. 07.06.78; Опубл. 15.09.80, Бюл. № 34. – 8 с.: ил.
39. Регулятор уровня грунтовых вод: А.с. 871153 СССР, G 05 D 9/02, Е 02 В 11/00 / А. Ф. Рубан, Н. В. Тарасенко (СССР). – 2875512/30-15; Заявл. 30.01.80; Опубл. 07.10.81, Бюл. № 37. – 4 с.: ил.
40. Регулятор уровня двустороннего действия: А.с. 1409978 СССР, G 05 D 9/02 / С. Ю. Бочаров, Б. А. Лозин (СССР). – 871153; Заявл. 18.08.86; Опубл. 15.07.88, Бюл. № 26. – 3 с.: ил.
41. Рекомендації з проектування осушувально-зволожувальних систем модульного типу: посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» / П. Коваленко, М. Яцик, Б. Чалий, О. Тищенко, Л. Ворошнова, Н. Мозоль, Г. Воропай, Н. Стасюк, О. Дробот – Київ: УкрНІГІМ, 2010. – 34 с.

42. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромащенко – Рівне : НУВГП, 2010. – 351 с.
43. Ромащенко М. І., Драчинська Е. С., Шевченко А. М. Інформаційне забезпечення зрошуваного землеробства. Концепція, структура, методологія організації. – Київ: Аграрна наука, 2005. – 196 с.
44. Рубан О. Ф. Гідравлічна автоматизація меліоративних систем // Збірник винаходів. – Київ : Генеза, 2008. – 64 с.
45. Сельченко В. П., Мордухович Б. Ш. Расчет оптимального по быстродействию управления УГВ в автоматизированных осушительно-увлажнительных системах // Конструкции и расчеты осушительно-увлажнительных систем. – Минск : БелНИИМиВХ, 1978. – С. 12–18.
46. Сельченко В. П., Мордухович Б. Ш. Алгоритмы, параметры и устойчивость автоматизированных осушительно-увлажнительных систем // Новые конструкции мелиоративных систем : сб. науч. тр. БНИИМиВХ. – Минск, 1982. – С. 14–27.
47. Тищенко О., Нагалюк С. Регулювання водного режиму земель на осушувальних системах України // Водне господарство України : науково-виробничий журнал. – 2009. – Вип. № 3. – С. 43–46.
48. Чалий Б., Мозоль Н. Проектування осушувально-зволожувальних систем блочно-модульного типу // Водне господарство України: науково-виробничий журнал. – 2009. – Вип. № 6. – С. 55.
49. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 135 с.

Глава 17. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

17.1. Исходные предпосылки к оптимизации водорегулирования осушаемых земель

Необходимость сочетания потребностей интенсификации земледелия с охраной окружающей среды при масштабных размерах мелиорированных территорий вызвали необходимость переосмысления направленности гидромелиораций и изменения подходов к обоснованию их состава на новых научных принципах. Поэтому наряду с необходимостью повышения экономической эффективности сегодня чрезвычайно остро стоит проблема экологизации мелиораций вообще [37].

Решение такой сложной проблемы возможно только благодаря реализации на практике современной концепции развития мелиорации, в частности в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения Украины, прежде всего в Полесье. Эта концепция основывается на применении новых подходов и прогрессивных технологий водорегулирования с целью оптимизации мелиоративного режима осушаемых земель. Она предусматривает согласование противоречивых требований к водному режиму посевов выращиваемых сельскохозяйственных культур и соответствующего экологического эффекта, создаваемого при этом. Полученный урожай и экологические последствия служат главными критериями необходимости и целесообразности реализации гидромелиоративных мероприятий.

Применение такого подхода требует смещения акцентов и перехода от сложившейся практики не только рассмотрения мелиоративных объектов как технических, а представления их в виде *сложных природно-технических систем*. Поскольку гидромелиоративные системы оказывают также определяющее влияние на эколого-мелиоративное состояние как в пределах системы, так и прилегающей к ней территории, то целесообразно рассматривать их как *сложные природно-технические эколого-экономические системы* с соответствующим изменением всей методологии, технической и технологической стратегии их создания и функционирования за счет более точного учета, прежде всего изменчивых как в многолетнем, так и внутрисезонном разрезе природно-климатических условий. Последние имеют неустановившийся стохастический характер и производят вместе с мелиоративными факторами определяющее влияние на общий природно-мелиоративный режим осушаемых земель и соответствующий эколого-экономический эффект.

Сегодня практически отсутствуют достаточные методы обоснования эколого-экономической целесообразности реализации гидромелиоративных мероприятий в виде определенных технических и технологических решений (ТТР) по водорегулированию, соответствующие требованиям современного этапа развития осушительных мелиораций. Это вызывает необходимость соответствующего повышения требований к качеству оценки, прогноза и оптимизации управления водным и общим природно-мелиоративным режимами осушаемых земель как обязательного условия решения этой проблемы, а также определяет актуальность формализации этих процессов на всех стадиях построения схем принятия решений при проектировании нового строительства, реконструкции и эксплуатации мелиоративных объектов по соответствующим моделям. Для этого нужна система прогнозно-оптимизационных моделей, позволяющая прогнозировать и оценивать общую эколого-экономическую эффективность гидромелиоративных мероприятий при обосновании технических решений по водорегулированию осушаемых земель на различных уровнях принятия их во времени.

К сожалению, мелиоративная наука пока не располагает полной системой таких моделей, пригодных для инженерной практики в условиях производства, прежде всего из-за чрезвычайно сложного характера природно-техногенных процессов, происходящих на мелиорированных землях. Применение же имеющихся, даже с привлечением возможностей современных средств вычислительной техники, крайне затруднено из-за сложности, значительного количества параметров и разного рода ограничений, отсутствия соответствующего информационного обеспечения и т. п.

Кроме того, сегодня наблюдается значительный разрыв между уровнем развития научных идей и эффективностью их реализации в условиях производства. Назрела насущная необходимость доведения научных разработок до главных пользователей – проектировщиков и эксплуатационников мелиоративных систем, чтобы эти методы сделать неотъемлемой составляющей соответствующих технологических процессов на производстве.

17.2. Современное состояние и пути развития осушительных мелиораций в Украине

Потребности в развитии водных мелиораций в целом определяются потребностями общества в растениеводческой продукции, увеличение которой в условиях Украины возможно только за счет интенсификации сельскохозяйственного производства, включая мелиоративное освоение засушли-

вых и переувлажненных земель. В природно-климатических условиях Украины водные мелиорации в зонах недостаточного и избыточного увлажнения, вместе с комплексной механизацией и химизацией сельского хозяйства, выполнением агротехнических, противоэрозионных, лесомелиоративных и других мероприятий, стали необходимым условием интенсификации сельскохозяйственного производства, его развития, основой прогрессивных социально-экономических преобразований в регионах.

Мелиоративный фонд в зоне осушения составляет 5,4 млн га. Из них на сегодня мелиорированных 3,3 млн га (или более 60 %), в том числе с двусторонним регулированием около 1,1 млн га. Все это позволяло получать, по разным оценкам, от 20 до 40 % дополнительной сельскохозяйственной продукции.

Согласно действующим государственным программам главными стратегическими направлениями мелиорации земель на перспективу должны стать комплексная реконструкция и усовершенствование существующих систем, приведение к оптимальному соотношению орошения и осушения с другими мелиоративными способами улучшения свойств земли и повышения ее плодородия, применение прогрессивных водосберегающих технологий водорегулирования и режимов орошения.

Вместе с тем следует отметить, что развитию мелиорации в Украине вообще и в зоне осушения в частности, в том числе на Полесье, присущи все общие объективно обусловленные как положительные, так и отрицательные тенденции, подробно рассмотренные академиком Б. Б. Шумаковым [76]. В первую очередь это касается того, что широкомасштабное развитие мелиорации связано со значительными капиталовложениями, очень ощутимыми для экономики любой страны, но полученный эффект при этом составляет в лучшем случае 60–70 % от проектного.

Среди многочисленных причин недостижения проектной эффективности мелиорации Б. Б. Шумаков вполне справедливо акцентирует внимание на недостатке наших знаний о результатах взаимодействия в ходе мелиоративной деятельности человека с природными процессами и их учете при проектировании. Вследствие этого на мелиорированных землях и прилегающих к ним территориях развиваются в непредсказуемых масштабах процессы с негативными явлениями, которые резко снижают эффективность мелиорации.

Более того: попытки получить за счет мелиорации максимум сельскохозяйственной продукции без учета требований охраны окружающей среды привели в ряде случаев к кризисным ситуациям в области экологии. Однако, несмотря на это, дальнейшее развитие мелиорации должно происходить, но на принципиально новом уровне, обеспечивая не только высокую и постоянную эффективность сельского хозяйства, но и его экологическую устойчивость. Вместе с тем водные мелиорации в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения определяются значительно более сложным характером водного режима почв вследствие условий его формирования, что, в свою очередь, предопределяет техническую и, более всего, технологическую сложность его регулирования.

Согласно П. И. Коваленко [20, 21] современная концепция развития мелиорации земель в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения Украины должна базироваться прежде всего на разработке прогрессивных технологий управления водным режимом почв, реализация которых позволит:

- обеспечить благоприятные условия развития выращиваемых сельскохозяйственных культур с целью получения плановых урожаев при условии расширенного воспроизводства (или, как минимум, сохранения) плодородия почвы;
- сохранять экологическое равновесие на системах и в зоне их влияния;
- обеспечивать экономное расходование ресурсов (минимум капитальных вложений при строительстве и реконструкции систем, затрат на их эксплуатацию, экономию водных, энергетических ресурсов и т. д.).

Оптимизация условий среды жизнедеятельности растений возможна только при комплексном подходе к планированию гидро- и агромелиоративных мероприятий, разработка которых должна выполняться на качественно более высоком уровне описания процессов, протекающих в системе *почва – растение – атмосфера*. Основанием для разработки оптимальной стратегии управления являются требования выращиваемых культур на разных этапах их онтогенеза к водному, тепловому и питательному режимам почв. В связи с этим для объектов мелиорации в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения очень актуальны вопросы научного обоснования управления почвенными процессами с помощью гидромелиораций через реализацию соответствующих способов, схем и режимов водорегулирования осушаемых земель.

Исключительно важное значение в настоящее время приобрели вопросы обеспечения экологического равновесия на системах и прилегающих территориях. Что касается технологии управления водным режимом почв, экологически обоснованными должны быть прежде всего режимы осушения и увлажнения на основе почвенно-гидрофизического мониторинга и моделей плодородия почвы.

Как показывает эксплуатационная практика, технологический уровень действующих систем в зоне осушительных мелиораций не согласуется с растущими требованиями к мелиорации земель, в том числе в части управления водным режимом осушаемых земель. Одной из причин такого положения является низкий уровень эксплуатации систем из-за трудностей реализации в производственных условиях даже простых водобалансовых расчетов, связанных с регулированием водного режима. Для внедрения расчетных методов регулирования водного режима почв нужен качественно более высокий уровень описания водно-физических процессов в системе *почва – растение – атмосфера* с привлечением методов математического моделирования и компьютерной техники.

Неотъемлемой частью при реализации такого подхода является создание баз данных климатического и почвенно-гидрофизического обеспечения моделей агроэкосистемы уже на стадии ее проектирования. Однако пока отсутствуют математические модели как мелиорируемого поля, так и системы в целом, позволяющие на современных эколого-экономических принципах подойти к обоснованию выбора способа, режима и схемы водорегулирования и соответственно оптимальных типа, конструкции, схемы работы и параметров системы как на стадии проекта, так и стадии эксплуатации мелиоративных объектов.

Конечным итогом всех процессов в зоне осушительных мелиораций вопрос усовершенствования конструкций и схем работы гидромелиоративных систем, обеспечивающих создание и поддержание благоприятных (оптимальных согласно [37]) мелиоративных режимов как в рамках системы, так и на прилегающей к ней территории.

Таким образом, конструктивные проектные решения при строительстве и реконструкции мелиоративных систем на осушаемых землях, а также технологические решения при их функционировании, по уровню своей сложности, надежности и, наконец, стоимости должны быть вполне адекватны общему эколого-экономическому эффекту, достигаемому при их реализации.

17.3. Общие подходы к оптимизации водорегулирования осушаемых земель

Рассмотренное современное состояние и перспективы развития осушительных мелиораций в целом и в зоне Полесья Украины в частности убедительно свидетельствуют о том, что общая, весьма сложная и многогранная междисциплинарная проблема экологизации сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях прежде всего тесно связана с проблемой оптимизации мелиоративного режима осушаемых земель, поскольку именно он в конечном итоге определяет общий эколого-экономический эффект от реализации мелиоративных мероприятий.

Постановка данной проблемы, в принципе, не нова. За последние десятилетия различные ее аспекты – от общих до режимных, технологических, технических, мониторинговых и эколого-экономических – достаточно основательно рассматривались в многочисленных публикациях специалистов различного профиля, которые занимались непосредственно или сталкивались на практике в своей деятельности с проблемами мелиорации, в частности это труды И. П. Айдарова, В. Е. Алексеевского, Г. И. Афанасика, С. Т. Вознюка, А. И. Голованова, М. С. Григорова, Ф. Р. Зайдельмана, П. И. Коваленко, Н. А. Лазарчука, Б. С. Маслова, И. В. Минаева, А. Н. Никольского, О. В. Скрипника, М. А. Хвесика, Б. Ф. Шебеко, Б. Б. Шумакова, А. В. Яцика и многих других [10, 11, 14, 17, 19, 20, 21, 26, 31, 32, 37, 38, 39, 40, 45, 68, 71, 75, 76, 77, 78 и др.].

Но, с нашей точки зрения, современные, наиболее обобщенные подходы к обоснованию комплекса мероприятий по оптимизации мелиоративного режима сельскохозяйственных земель при проектировании и эксплуатации гидромелиоративных систем рассмотрены в соответствующих рекомендациях И. П. Айдарова, А. И. Голованова, Ю. М. Никольского [37]. Основные положения этих рекомендаций, особенно в отношении зоны осушительных мелиораций, взяты нами за основу и заключаются в следующем.

За истекший период развития при обосновании и размещении мелиораций главное внимание уделялось преимущественно вопросу повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Однако нужен более глубокий и разносторонний подход к их развитию, поскольку вместе с ростом урожайности культур в результате мелиорации земель в разных природных зонах имели место такие негативные экологические последствия от осушения и орошения:

- усиление вымывания питательных веществ из почвы в результате интенсификации их промывного водного режима;
- усиление минерализации питательных веществ почвы;
- усиление водной и ветровой эрозии почв в результате проведения мероприятий по ускорению поверхностного стока; изменение условий почвообразования;
- загрязнение поверхностных водоемов и рек;

– изменение гидрологической и гидрогеологической обстановки на прилегающих к системам территориях и т. п.

Вместе с тем еще в двадцатых годах этого столетия основатель отечественной мелиоративной науки А. Н. Костяков [22] обратил внимание на то, что при проведении мелиорации необходимо усиливать биологический и всеми возможными средствами замедлять геологический круговороты воды, питательных веществ и химических элементов с целью прогрессирующего повышения плодородия и продуктивности почв, чтобы не допустить ухудшения окружающей среды. Поэтому целью мелиорации и земледелия на мелиорируемых территориях должно быть не только увеличение сельскохозяйственной продукции, но и сохранение и улучшение плодородия почв при рациональном использовании земельных, водных и других ресурсов и охраны окружающей среды.

Для достижения такой цели необходимо оценивать работу оросительных и осушительных систем не только по влажности почвы и по тому, насколько она является комфортной для выращиваемых культур, но и по совокупности показателей, которые можно выразить в виде требований к регулируемым факторам почвообразования и развития растений. Такая совокупность показателей названа авторами [37] *мелиоративным режимом*.

Главная задача поддержания благоприятного природно-мелиоративного режима – согласование потребностей расширенного воспроизводства плодородия почвы и охраны природы в условиях интенсивного земледелия, обеспечивающих получение заданных урожаев сельскохозяйственных культур с соблюдением экологических требований.

Плодородие почвы является результатом почвообразовательного процесса, состоящего из совокупности биологических, химических и физических процессов. Поэтому не просто выбрать набор показателей, характеризующих природно-мелиоративный режим. Это должны быть показатели, поддающиеся регулированию доступными для устоявшейся технологии мелиорации и земледелия приемами. При этом важно, чтобы было хорошо изучено влияние этих приемов на почвообразовательные процессы и было достаточно фактического материала для его оценки.

С развитием науки, средств сбора и обработки информации и технологии управления набор таких показателей может меняться. Существенным является и наличие математических моделей и алгоритмов, позволяющих прогнозировать влияние тех или иных показателей на плодородие почв.

Для определения таких показателей авторами [37] рассмотрены общие критерии, необходимые для обоснования и выбора этих систем земледелия и мелиорации, соответствующих общей задаче – усилению биологического и замедлению геологического круговорота воды и химических веществ.

Данные критерии сформулированы ими следующим образом:

1. Максимальная продуктивность выращиваемых культур ($Y \rightarrow \max$) при минимальном расходовании водных ресурсов и питательных веществ на единицу массы продукции. Для этого необходимо интенсифицировать использование солнечной энергии посевами, что достигается регулированием основных факторов жизнедеятельности растений, в том числе в первую очередь водно-воздушного режима почв.

2. Расширенное воспроизводство плодородия почв с помощью приемов земледелия и мелиорации для повышения энергии почвообразования ($Q \rightarrow \max$) и обеспечения положительного баланса органических и минеральных питательных веществ.

3. Охрана окружающей среды. В целом для реализации мероприятий, направленных на охрану природы, необходимо определить допустимые границы изменения ее состояния (допустимые нормы и интенсивность забора воды из водотоков и сброса в них воды), допустимые границы изменения уровня грунтовых вод (на системе и прилегающих территориях) и выбрать необходимый комплекс инженерных, сельскохозяйственных и других мероприятий по защите в составе проекта мелиорации земель.

На основании изложенного авторами [37] предложены следующие показатели мелиоративного режима, которые необходимо использовать при обосновании мелиораций в разных природных зонах:

1. Допустимые границы регулирования влажности активного корнеобитаемого слоя почвы.

2. Допустимая глубина УГВ, изменяющаяся в течение года и в пределах ее кратковременных подъемов, вызванных проведением увлажнительных мероприятий или интенсивными осадками.

3. Направленность влагообмена между корнеобитаемым слоем почвы и грунтовыми водами, а также его интенсивность.

4. Допустимое содержание токсичных солей в почве, катионов натрия и магния в почвенном поглощающем комплексе и реакция pH почвенного раствора.

5. Предельные значения общей минерализации поливной воды, соотношение в ней катионов Na , Ca и Mg , реакции почвы pH .

6. Комплекс агрохимических показателей плодородия почв и направленный характер их изменения.

Таким образом, три из рассмотренных показателей – влажность почвы W , глубина УГВ H_g и величина влагообмена V^\uparrow , характеризующие водный режим почв как определяющую составляющую общего природно-мелиоративного режима, играют ведущую роль и в значительной степени обуславливают интенсивность биологического и геологического круговоротов на мелиорированных территориях. При этом стремление к повышению урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур и одновременно необходимость повышения плодородия почв и охраны природы вызывают противоречивые потребности регулирования таких показателей. Поэтому необходима оптимизация природно-мелиоративного режима вообще, которая должна базироваться прежде всего на долгосрочном прогнозе водно-воздушного режима почв для различных альтернативных вариантов типов и конструкций гидромелиоративных систем на стадии проектирования их строительства или реконструкции и схем работы при эксплуатации при определенных природно-хозяйственных условиях мелиорированных территорий путем применения соответствующих методов и прогнозно-оптимизационных моделей, а также необходимых показателей и критериев оценки.

17.4. Системный подход как методологическая основа постановки и решения задач оптимизации водорегулирования осушаемых земель

В силу рассмотренных выше причин, а также согласно литературным данным [19], оценка влияния мелиоративных объектов, и особенно объектов осушительных мелиораций, на окружающую среду является сегодня, пожалуй, определяющим моментом в процессе их проектирования. Кроме того, в последние десятилетия в развитии мелиорации и водного хозяйства как в странах СНГ, так и в Украине имеет место обострение вопроса о социально-экологической правомочности и экономической целесообразности реализации мелиоративных и водохозяйственных объектов [19,76 и др.].

Таким образом, согласно Б. П. Каруку сложившаяся ситуация требует неотложной переоценки и пересмотра самих методологических основ, которыми руководствовались при решении поставленных вопросов проектировщики и другие звенья мелиоративно-водохозяйственного комплекса.

Сегодня уже нет сомнений в том, что любой мелиоративный объект как сложная природно-техническая эколого-экономическая система по сложности задач, которые по нему решаются, и сумме действующих при его функционировании факторов должен рассматриваться как проблема. Современной методологической основой, принятой во всем мире для решения сложных проблем вообще и возникающих в них междисциплинарных ситуаций, является системный анализ в широком смысле этого слова и системный подход как его методологическое ядро [34 и др.].

Значит, объективные (правильные) проектные и технологические решения, то есть социально, экономически и экологически допустимые параметры гидромелиоративных систем, других водохозяйственных объектов и режимов их работы, могут быть достигнуты только на пути последовательного применения в качестве базовой методологии системного подхода и системного анализа, так и его математического аппарата, ориентированных на широкое использование ЭВМ.

Системный подход и системный анализ все еще являются относительно новым для отраслей мелиорации, водного и сельского хозяйства видом исследований, который стремительно развивается и внедряется в практику. Он представляет собой отражение одной из сторон современного научно-технического прогресса, характеризующейся в числе других отличительных черт созданием и функционированием крупных и сложных природно-технических эколого-экономических систем, имеющих целостный междисциплинарный характер.

Свой весомый вклад в развитие, пропаганду и распространение методологии системного подхода к решению сложных проблем и задач вообще, а также в родственных отраслях мелиорации, водного и сельского хозяйства в частности внесли М. Андерсон, Т. П. Берт, А. Бисвас, Дж. Ван Гиг, Г. В. Воропаев, Е. П. Галамин, Е. Е. Жуковский, Б. П. Карук, Н. Н. Моисеев, С. В. Нерпин, В. П. Остапчик, В. А. Платонов, Р. А. Полуэктов, В. Г. Пряжинский, Л. М. Рекс, Ю. И. Черняк, А. Ф. Чудновский, В. В. Шабанов, Б. Г. Штепа и др. [7, 8, 12, 13, 16, 19, 30, 36, 40, 42, 72 и др.].

На основании этих разработок основные положения применения системного подхода как методологической основы постановки и решения задач оптимизации водорегулирования осушаемых земель, которые в полной мере подпадают под признак сложных междисциплинарных проблем, могут быть сформулированы следующим образом.

Системный подход при проектировании мелиоративных объектов требует обязательного совместного рассмотрения всей совокупности факторов: природных, технических, сельскохозяйствен-

ных, экономических, экологических, социальных, психологических, культурно-эстетических, исторических и других – в их взаимосвязи и взаимозависимости.

Существующая система проектирования, безусловно, страдает от несколько одностороннего технократического подхода, когда центром проекта становятся преимущественно технические и технологические факторы, другие же либо не рассматриваются, либо рассматриваются недостаточно, как второстепенные. При этом очень остро стоит задача экологического обоснования мелиоративных объектов, и в связи с этим экологический подход в их проектировании должен рассматриваться как одна из сторон системного подхода.

По мнению Б. П. Карука [19], в основу системно-экологического подхода при проектировании мелиоративных объектов должны быть положены следующие принципы:

1. Концепция природно-технической системы.
2. Региональный подход в проектировании.
3. Сопряженность с социальной сферой.
4. Эколого-экономическая оценка эффективности запроектированных мероприятий.
5. Системное рассмотрение проблемы мелиорации должно исходить из того, что над всеми нами в глобальном масштабе преобладает экологический императив.

По определению Л. М. Рекса [49], под *мелиоративной системой* (МС), как системой улучшения, следует понимать объективно обусловленное единство разнородных элементов в виде *системы сельскохозяйственного производства* (ССВ) и *гидромелиоративной системы* (ГМС). Здесь ГМС и ССВ являются подсистемами, нижестоящими по отношению к МС.

В свою очередь, ГМС представляет собой комплекс инженерных сооружений и технических средств, выступающих как составляющие технические элементы МС.

Элементы ССВ в рамках МС выступают как природно-агротехнические элементы – мелиорированные поля, на которых выращиваются сельскохозяйственные культуры, ГМС вместе с ССВ одновременно зависят и влияют на окружающую среду, создавая общую природно-мелиоративную обстановку.

Отсюда главная роль МС заключается в том, чтобы благодаря управлению природно-мелиоративным режимом получать экономически и экологически оправданное количество выращиваемой сельскохозяйственной продукции как в условиях текущего года, так и в многолетнем разрезе с учетом прежде всего природных (климатических) условий местности, играющих при этом определяющую роль.

Природно-мелиоративный режим реализуется на мелиорируемых полях в структуре ССВ и МС в целом благодаря функционированию ГМС в соответствующих природно-климатических и почвенно-мелиоративных условиях и создает соответствующий экономический и экологический эффект. Поэтому использование прогнозно-оптимизационных режимных расчетов позволит подойти к обоснованию и выбору оптимальных ТТР по водорегулированию и соответственно типов, конструкций, параметров составляющих технических элементов ГМС, в том числе мощностей МС на осушаемых землях вообще, при проектировании их нового строительства или реконструкции, а также оптимальных схем работы и режимов функционирования при их эксплуатации с учетом климатических, агротехнических, почвенно-мелиоративных и других особенностей объекта.

Поскольку природно-мелиоративный режим как определяющий фактор создаваемого эколого-экономического эффекта, с одной стороны, и вся техническая и технологическая политика реализации гидромелиоративных мероприятий, с другой стороны, должны быть положены в основу принятия ТТР по водорегулированию при создании и функционировании МС, то при поэтапной реализации оптимального управления основными факторами развития выращиваемых сельскохозяйственных культур и плодородия почв из всех элементов технологии сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях в первую очередь в нем нуждаются режимы водорегулирования на осушаемых землях соответствующими способами.

Управление водорегулированием должно предусматривать получение максимальной в конкретных природных и агротехнических условиях отдачи при соответствующем экономном использовании ресурсов и минимизации негативного влияния на плодородие почв и окружающую среду. Согласно В. П. Остапчику [18] оптимальным управлением водорегулирования можно назвать такую совокупность управляющих действий при его реализации, которая при заданных ограничениях обеспечивает выгодное значение принятого к рассмотрению определенного количественного показателя качества – *критерия оптимальности*, характеризующего эффективность функционирования управляющего объекта и тем самым эффективность (качество) управления им.

Водорегулирование на мелиорируемых полях и системе в целом – процесс динамический, поскольку непрерывно переходит из одного состояния в другое и кибернетический, так как управление

этим переходом происходит на основании использования информации. В то же время оно является вероятностной статистической системой, поскольку его движение обусловлено динамикой влагозапасов, развития растений и почвенных процессов на полях из-за выраженного стохастического характера прежде всего климатических условий, а потому представляет собой неопределенный процесс. Следовательно, точное и детальное предсказание этого движения невозможно. Эта система открыта, ибо находится под влиянием природной и организационно-хозяйственной среды и оказывает влияние на окружающую среду на основе использования внутренней и внешней информации.

Как и все подсистемы сельскохозяйственного и мелиоративного производства, водорегулирование на отдельных полях и участках системы имеет иерархическую структуру, то есть характеризуется централизованным подчинением, взаимодействием и управлением.

И, наконец, оно представляет собой *природно-экономическую* или (по определению Е. Е. Жуковского [16]) метеоролого-экономическую систему. Вход такой системы характеризуется совокупностью природных (прежде всего климатических), материально-технических и трудовых ресурсов (вода, энергия, рабочая сила и др.) и технологий (способы, схемы и режимы водорегулирования), а выход – это продукция растениеводства и создаваемый экологический эффект.

Итак, водный режим как главный объект исследования и управления, так и водорегулирование на каждом поле и системе в целом являются большими и сложными, динамичными и стохастическими, кибернетическими и экономическими системами с выраженной (n-уровневой) иерархической структурой, значительным количеством составляющих технических (по отношению к ГМС) и природно-агротехнических (относительно ССВ) элементов. Они также входят в виде соответствующих составляющих подсистем в природно-техническую эколого-экономическую систему более высокого уровня вида *агробиоценоз – ГМС – окружающая среда*.

Такие их признаки обязательно необходимо учитывать при решении вопроса по водорегулированию на осушаемых землях для создания оптимальных природно-мелиоративных режимов как в многолетнем разрезе, так и в условиях текущего сезона. При этом различным уровням принятия решений по водорегулированию во времени отвечают в понятиях кибернетики *стратегическое планирование, тактическое планирование и оперативное управление*.

Согласно литературным данным [30] кибернетика рекомендует для реализации названных видов планирования и оперативного управления такими сложными, стохастическими, природно-экономическими системами применять системный подход, моделирование и использование наиболее полной информации обо всех сторонах движения систем.

Таким образом, комплекс математических моделей, адекватных главным элементам управляющей системы, а также явлениям и процессам, которые в ней происходят, дает возможность путем ввода исходной информации оценивать состояние системы, определять текущее положение динамических характеристик целевой функции системы по отношению к выбранным критериям управления, прогнозировать траекторию фазовых координат движения системы, планировать оптимальные управляющие действия (в нашем случае – способы или схемы водорегулирования на осушаемых землях) и принимать соответствующие решения для поддержания системы в рамках (зоне) оптимума, планировать распределение ресурсов, особенно при их недостатке или дефиците, между конкурирующими объектами управления (полями, отдельными водорегулирующими участками системы и т. д.) с ориентацией на достижение максимальной эффективности функционирования системы при минимальном расходе ресурсов и негативного воздействия на окружающую среду и смежные системы.

Следовательно, системный подход и математическое моделирование позволяют достаточно объективно и с наименьшим хозяйственным риском принимать стратегические, плановые и оперативные управленческие решения, планировать технологические операции в условиях неопределенности, что в полной мере присуще мелиоративным объектам на осушаемых землях.

Кроме того, при рассмотрении крупных и сложных динамических систем цели часто многозначны, противоречивы и даже взаимоисключающи, что имеет место при устранении главного противоречия между необходимостью одновременного усиления биологического и замедления геологического круговоротов воды и веществ на мелиорированных землях (пункт 17.3). Все это вызывает необходимость постановки и решения оптимизационных задач. Здесь цели также имеют иерархическую природу, а отдельные цели и задачи подсистем на низших уровнях формулируются, ориентируясь на достижение всей системой общих целей [30]. Поэтому построение моделей сложных систем базируется на системном подходе как методологической основе и включает в себя декомпозицию (расчленение) сложных целей и задач, присущих таким системам, а также применение методологии нисходящей иерархии анализа и восходящей иерархии синтеза для достижения отдельных целей и решения отдельных задач, входящих как составляющие в создаваемый комплекс прогнозно-оптимизационных моделей и методов их реализации.

Математические методы и модели, используемые в системном анализе, хорошо приспособлены для моделирования отдельных процессов, явлений или свойств. Что касается функционирования гидромелиоративных систем на осушаемых землях, то для практики нужны проблемно ориентированные модели сложных природно-технических эколого-экономических систем, которые достаточно полно описывают объект и вместе с тем пригодны для использования в цепи управления, то есть доступны для анализа, содержат в себе практически измеряемые величины и затраты времени на расчеты по этим моделям, а значит, пригодны для использования в производственных условиях.

17.5. Теоретические основы оптимизации технических и технологических решений по водорегулированию осушаемых земель относительно уровня принятия их во времени

Главной задачей сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций является разработка и реализация комплекса агромелиоративных мероприятий, ТТР по регулированию условий развития выращиваемых культур, и в первую очередь водно-воздушного режима как определяющей составляющей общего природно-мелиоративного режима.

Критериями необходимости, эффективности и целесообразности проведения гидромелиоративных мероприятий выступает урожай выращиваемых культур и создаваемый экологический эффект от воздействия системы на окружающую среду. Поэтому, поскольку в сложных природно-технических системах четко прослеживается структурная связь вида [51, 53]

эффект ↔ режим ↔ технология ↔ конструкция,

то относительно рассматриваемой проблемы оптимизации водного и общего природно-мелиоративного режимов (пункт 17.3) и применения принципов системного подхода к ее решению как сложной проблемы междисциплинарного характера (17.4), считаем, что в основу принятия оптимальных *технологических* (способы, режимы, схемы) и *технических* (тип, конструкция, параметры и т. д.) *решений* по водорегулированию осушаемых земель при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем должно быть положено следующее соотношение в виде иерархической блочной структуры

(урожай ↔ экологический эффект) ↔ (природно-мелиоративный режим) ↔ (способ, режим, схема регулирования) ↔ (тип, конструкция, параметры, схема работы ГМС).

Составляющие такого структурного соотношения взаимообусловлены и взаимосвязаны между собой (рис. 17.1).

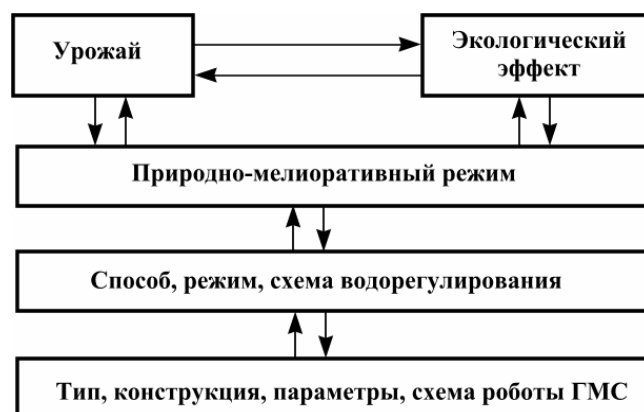


Рис. 17.1. Основные составляющие принятия технических и технологических решений в мелиорации и структура их связи

Здесь блок *Природно-мелиоративный режим* играет ключевую роль, поскольку определяет общий эколого-экономический эффект, с одной стороны, а также технические и технологические решения для его обеспечения – с другой. При этом могут быть рассмотрены уже не только *необходимость* гидромелиоративных мероприятий и технические и природно-хозяйственные возможности, а, в конце концов, также общая эколого-экономическая *целесообразность* их реализации через оценку создаваемого ими реального эффекта.

К сожалению, приходится констатировать, что необходимый современный уровень эколого-экономической целесообразности реализации мелиоративных мероприятий все еще не достигнут. Главная причина такого положения дел, на наш взгляд, заключается в том, что в силу ряда причин различного характера за прошлый период развития мелиорации в стране, при всех достигнутых успехах в этой области, так и не был ликвидирован разрыв связи между такими составляющими основополагающего структурного соотношения, как урожай, экологический эффект, природно-мелиоративный

режим, с одной стороны, и способ, режим, схема регулирования, тип, конструкция, параметры, схема работы ГМС – с другой.

Здесь имеется в виду, что вопрос разработки типов, конструкций ГМС и их составляющих гидротехнических сооружений и т. п., а также методы их проектирования, расчета, изготовления и строительства имели преимущественное и приоритетное значение по отношению к вопросам формирования урожая культур и экологического эффекта в зависимости от применения различных способов (схем) регулирования и создания соответствующих природно-мелиоративных режимов. Кроме того, указанные вопросы разрабатывались специалистами разного профиля: инженерно-технического в первом случае и природно-физического и биологического – во втором, часто без соответствующего согласования и дальнейшего взаимного использования полученных результатов.

И лишь в последние десятилетия прошлого столетия появились научные разработки, преимущественно поискового и постановочного характера, касающиеся вопросов оптимизации ТТР на основе их взаимосвязи с вопросами оптимизации природно-мелиоративных режимов при создании и функционировании мелиоративных систем в силу возникновения широкого круга острых проблем, прежде всего в зоне оросительных мелиораций (дефицит водных ресурсов, подтопление, увеличение объемов неэффективного использования оросительной воды и связанный с этим перерасход все дорожающих энергетических, водных и других ресурсов, деградация мелиорированных почв и т. д.) [2, 12, 16, 18, 19, 20, 27, 30, 31, 37, 40, 49, 76 и др.].

В зоне осушительных мелиораций сформулированная проблема приобрела особую актуальность где-то с середины 80-х годов прошлого века [1, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 30, 31, 32, 37, 49, 50, 58, 75, 78 и др.].

Водный режим почв в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения наряду с видом почв, рельефом местности, гидрологическими и гидрогеологическими условиями, видом и фазой развития выращиваемых сельскохозяйственных культур выступают как фон, обусловленный преимущественно *климатическими* или *метеорологическими* (динамикой и соотношением выпадающих атмосферных осадков и испарения) и *мелиоративными* (способами его регулирования) факторами.

Прогнозная оценка водного режима в зависимости от определяющих его природно-мелиоративных факторов и принятие на их основе оптимальных решений по водорегулированию в разные этапы создания и функционирования мелиоративных систем является необходимым условием решения ряда задач по поддержанию благоприятного водно-воздушного режима и общего природно-мелиоративного режима осушаемых земель в период роста и развития культур, рационального использования земельных, водных, энергетических и других ресурсов в рамках системы и на прилегающей к ней территории.

Теоретической основой для создания таких моделей должна быть формализация сформулированного концептуального подхода о необходимости увязки уровня технического совершенства и стоимости мелиоративных объектов с соответствующим уровнем общей эколого-экономической эффективности от их функционирования.

Согласно Е. П. Галямину [12] в гидромелиорации эффект относительно продуктивности выращиваемых культур может быть выражен в простом виде функцией вида $y_k(\Phi_k)$, где Φ_k – количество воды, которое подается или отводится на мелиорированные земли. В диапазоне допустимых значений каждого экологического фактора влияние функции отклика (урожай) зависит от конкретного его значения (параметра). Итак, функция $y_k(\Phi_k)$ должна отыскиваться только как срез многомерной функции $y_k(\Phi_k, X)$, где $X = \{x_i\}$ – вектор факторов внешней среды, то есть при каждом срезе X должна быть своя функция $y_k(\Phi_k)$. По мнению Е. П. Галямина, даже такой сложно реализуемый подход является значительным упрощением отражения функционирования реального объекта, поскольку большинство факторов внешней среды не может быть охарактеризовано однозначно (одним числом или параметром). При этом следует отметить, что рассматриваемая функция, по сути, отражает лишь одно звено связи вида *урожай – режим* и практически не учитывает технологический и технический аспекты влияния водорегулирования на создаваемый эффект. Последние, в свою очередь, также разрабатывались разными исследователями без учета на должном уровне воздействия на создаваемый эколого-экономический эффект от их реализации.

В связи с изложенным в развитие данного подхода и для формализации более универсального по своему характеру предложенного основополагающего структурного соотношения (рис. 17.1) целесообразно представить его как [56]

$$\begin{aligned} & \text{параметры эффекта} \Leftrightarrow \text{параметры режима} \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow \text{параметры технологии} \Leftrightarrow \text{параметры конструкции} \end{aligned}$$

Отсюда, введя необходимые обозначения, можем представить функциональную связь между его составляющими в общем случае в качестве сложносоставной функции вида

$$y_i = f_1(f_2(f_3(x_i))), i = \overline{1, n_i}, \quad (17.1)$$

где y_i – параметры общего эколого-экономического эффекта FE_i , состоящего из параметров продуктивности (урожайности) выращиваемых сельскохозяйственных культур $FY_k, k = \overline{1, n_k}; i = \overline{1, n_i}$ и соответствующих параметров создаваемого экологического эффекта $FZ_{ji}, j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}$;

f_1 – функция, зависящая от параметров природно-мелиоративных режимов $FR_i, i = \overline{1, n_i}$;

f_2 – функция, зависящая от параметров применяемых технологий водорегулирования $FS_i, i = \overline{1, n_i}$;

f_3 – функция аргументов x_i , зависящая от параметров конструктивных решений мелиоративных систем $FK_i, i = \overline{1, n_i}$ при реализации соответствующих технологий водорегулирования на мелиорированных землях;

i – совокупность $\{i\}, i = \overline{1, n_i}$ возможных вариантов функционирования мелиоративной системы как сложной природно-технической эколого-экономической системы, то есть реализации соответствующих ТТР по водорегулированию осушаемых земель в соответствующих природно-агро-мелиоративных условиях реального объекта.

Перечисленные функции $f_1 \dots f_3$ являются функциями сложных взаимосвязанных аргументов, то есть

$f_3(x_i)$ – как функция, зависящая от параметров конструкции;

$f_2(f_3(x_i))$ – как функция, зависящая от параметров технологии;

$f_1(f_2(f_3(x_i)))$ – как функция, зависящая от параметров режимов.

Тогда поиск параметров составляющих сложносоставной функции (17.1) и, в первую очередь, параметров технологических и технических решений по способам, режимам и схемам водорегулирования осушаемых земель и связанных с ними типа и конструкции мелиоративных систем, а также составляющих их технических элементов (дренаж, каналы, трубопроводы, регулирующие гидротехнические сооружения, насосные станции и т. п.) в зависимости от создаваемого общего эколого-экономического эффекта формально может быть осуществлен по выражению (1) через соответствующие обратные функции.

А именно:

– относительно параметров режимов $FR_i, i = \overline{1, n_i}$

$$f_2(f_3(x_i)) = f_1^{-1}(y_i), i = \overline{1, n_i}; \quad (17.2)$$

– относительно параметров технологий $FS_i, i = \overline{1, n_i}$

$$f_3(x_i) = f_2^{-1}(f_1^{-1}(y_i)), i = \overline{1, n_i}; \quad (17.3)$$

– относительно параметров конструкции $FK_i, i = \overline{1, n_i}$

$$x_i = f_3^{-1}(f_2^{-1}(f_1^{-1}(y_i))), i = \overline{1, n_i}. \quad (17.4)$$

В основу реализации сложносоставных функций (17.1)–(17.4) должны быть положены исследования закономерностей взаимосвязанных процессов движения воды во всех различных по своей природе составляющих элементах (подсистемах) мелиоративной системы как сложной природно-технической эколого-экономической системы. И хотя рассмотренные функции (17.1)–(17.4) на данном этапе исследований не могут быть достаточно адекватно выражены аналитически, все они теоретически обосновывают возможность постановки задачи и поиска оптимальных параметров конструктивных и технологических решений по водорегулированию осушаемых земель на эколого-экономических принципах, хотя бы на эмпирическом или даже на значительно более объективном эмпирико-функциональном уровне определения зависимости между ними.

Современные мелиоративные объекты характеризуются широким набором различий в почвенных, рельефных и других условиях, что требует при их проектировании и эксплуатации часто совме-

щать различные способы водорегулирования в пределах одной системы. То есть возникает вопрос: какой должна быть система, проект строительства или реконструкции которой рассматривается – только осушительной или одностороннего действия; осушительно-увлажнительной (оросительной) или двустороннего действия; промежуточного типа – осушительной с предупредительным шлюзованием и т. д.

Такая постановка вопроса справедлива и при определении оптимальной схемы работы существующей системы при ее эксплуатации, когда необходимо выбрать оптимальные способы и режимы водорегулирования на полях системы, занятых различными культурами с различными относительно необходимого водного режима их требованиями. Поэтому окончательный выбор способов водорегулирования и связанных с ними типа, конструкции и схемы работы ГМС могут быть выполнены только на основании *технико-экономического обоснования* (ТЭО) оптимальных решений путем сравнения возможных их альтернативных вариантов (способов и схем водорегулирования) на рассматриваемом объекте, с помощью прогнозно-оптимизационных расчетов, основанных на реализации комплекса субмоделей по прогнозной оценке основных природно-мелиоративных факторов и режимов, их влияния на урожай выращиваемых сельскохозяйственных культур и создаваемый экологический эффект.

Практика проведения мелиорации и приобретенный опыт показывают, что особенность решения этих задач тесно связана с природной сезонной цикличностью сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях. Это позволило выделить три временных уровня по признаку распределения во времени между моментом принятия и моментом возникновения последствий принятого решения [16, 36, 42 и др.].

Рассматриваемый класс задач по принятию решений в мелиоративном производстве относительно временных уровней тесно связан с необходимостью формирования прогнозов природно-мелиоративных режимов различной заблаговременности. При этом климатические или погодные условия как составляющие общего природно-мелиоративного режима являются определяющими.

Известно, что прогноз погоды на любой длительный срок осуществить невозможно [16 и др.]. Вместе с тем процессы, происходящие на мелиорируемом поле, характеризуются достаточной инерционностью. Влагозапасы в почве не могут изменяться мгновенно, и растения довольно медленно реагируют на флуктуацию метеофакторов, если они не выходят за определенные границы. Поэтому именно свойство инерционности почв и посевов, а также периодическая повторяемость погодных условий позволяют производить те или иные прогнозы, несмотря на довольно сильную изменчивость последних во времени.

С учетом изложенного возможная схема видов и структуры прогноза природно-мелиоративных режимов (на *долгосрочной* и *краткосрочной* основе) относительно рассмотренных уровней принятия решений во времени при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем представлена на рисунке 17.2.

Представленная схема видов и структура прогнозов природно-мелиоративных режимов относительно уровней принятия решений во времени определяет: первые два уровня – проекта и плановой эксплуатации мелиоративных систем – требуют их *на долгосрочной основе*; третий уровень – оперативный режим управления системой – *на краткосрочной основе*.

Таким образом, обоснование оптимальных проектных решений на эколого-экономических принципах требует создания единого комплекса иерархически связанных моделей параметров эффекта, режима, технологий и конструкций, а потому прогнозные режимные расчеты по соответствующим моделям являются обязательной и неотъемлемой составляющей в структуре общих инженерно-мелиоративных расчетов на всех уровнях принятия решений во времени по реализации гидромелиоративных мероприятий.

Понятно, что задача разработать методы и модели по прогнозной оценке и оптимизации природно-мелиоративных режимов осушаемых земель для всех трех уровней принятия решений во времени – задача чрезвычайно сложная. В связи с этим главным содержанием данной работы является освещение возможных подходов и методов по разработке и реализации соответствующих моделей по выполнению прогнозно-оптимизационных режимных расчетов на долгосрочной основе при водорегулировании осушаемых земель для стадий проекта и плановой эксплуатации мелиоративных систем.

Экономический и экологический эффект от оптимизации природно-мелиоративных режимов должен быть связан не только с экономией стоимости капитального строительства или реконструкции системы, уменьшением текущих мелиоративных затрат или производительности мелиорированных земель, но и с тем природоохранным эффектом, который вообще обеспечивают комплексные мелиорации.



Рис. 17.2. Виды и структура прогноза природно-мелиоративных режимов относительно уровней принятия решений во времени

В общем случае оптимальные решения по выбору типа, конструкции, параметров и схем работы ГМС определяются посредством сравнения возможных альтернативных вариантов ТТР по соответственно выбранным показателям (критериям) оптимальности, принятыми функциями целей через реализацию так называемых *экономико-математических моделей* (ЭММ) оптимизации [30, 49 и др.]. Как такие показатели могут быть рассмотрены, например, минимальные приведенные затраты или максимальный коэффициент общей экономической эффективности при строительстве или реконструкции системы, минимальные текущие расходы или максимальный чистый доход при функционировании существующих систем и т. п. Поэтому при технико-экономическом сравнении вариантов структурного построения ГМС и схем их работы необходимо не только учитывать такие стоимостные *техничко-экономические показатели* (ТЭП), как капитальные вложения, стоимость полученной продукции, текущие сельскохозяйственные и мелиоративные (эксплуатационные) расходы, но и оценивать стоимость использованных природных ресурсов (воды, почв и т. д.), а также возможные расходы на предупреждение или возмещение причиненных природе убытков вследствие загрязнения дренажным стоком и вынесенными с ним органическими и химическими веществами водоприемников, возможной частичной потери плодородия почвы, подтопления или иссушения прилегающих территорий.

К сожалению, сейчас при обосновании ТТР по водорегулированию осушаемых земель на долгосрочной основе не уделяется должного внимания оценке используемых природных ресурсов и затрат на компенсацию возможных убытков природе. Такое положение дел обусловлено тем, что если в настоящее время вопрос об основных ТЭП (капитальные вложения, стоимость и себестоимость выращиваемой продукции и т. п.) и методах их определения решен более или менее в достаточной мере, то аналогичный вопрос относительно показателей экологической эффективности реализации гидро-мелиоративных мероприятий остается довольно проблематичным из-за их окончательной неопределенности вообще.

Поскольку практически невозможно совместить в одной экономико-математической оптимизационной модели показатели, выраженные в стоимостном виде и характеризующие экономическую эффективность мелиоративных мероприятий, вместе с физическими показателями водного и общего природного мелиоративного режимов осушаемых земель, характеризующих экологическую целесообразность их реализации (пункт), то вопрос создания единой эколого-экономической оптимизационной модели остается проблематичным и требует поиска новых подходов к его решению.

Таким образом, из изложенного следует необходимость рассмотрения как уже традиционных и широко применяемых на практике мелиораций методов и моделей по обоснованию ТТР при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем, так и применения для этого также сформулиро-

ванных пока на постановочном уровне методов и моделей с прогнозной оценкой эффективности и оптимизации водорегулирования осушаемых земель с учетом их зависимости от основных природных (климатических, почвенных, рельефных и др.) и мелиоративных (способов водорегулирования) факторов при решении такой комплексной и сложной проблемы междисциплинарного характера.

17.6. Подходы и методы решения оптимизационных задач в сложных природно-технических эколого-экономических системах

Современный этап развития сельскохозяйственного производства на осушаемых землях характеризуется комплексом нерешенных задач, связанных прежде всего с практическим отсутствием достаточных методов обоснования общей эколого-экономической целесообразности реализации гидро-мелиоративных мероприятий на различных уровнях принятия решений во времени (пункт).

Это вызывает необходимость повышения требований к качеству оценки, прогноза и оптимизации управления водным и общим природно-мелиоративным режимами осушаемых земель как обязательного условия решения рассматриваемого круга вопросов, а также определяет актуальность формализации этих процессов на всех стадиях построения схем принятия решений во времени, учитывающих главные особенности реального производственного объекта.

Рассмотрим имеющиеся подходы, методы и модели оптимизации решений, которые разрабатывались в родственных отраслях мелиорации, водного и сельского хозяйства до сих пор.

Согласно литературным данным [40] традиционным, можно сказать классическим, путем назначения управления и выбора решений (которые теоретически имеют универсальное значение независимо от специфики объекта) является *оптимизационный подход*. Он предусматривает четкую (количественно выраженную в скалярном виде) формализацию задачи управления, разработку моделей процессов, протекающих в объекте, и моделей воздействия на объект.

Формально модель для выбора решений состоит из целевой функции и набора ограничений, одним из которых является собственно модель объекта. Зная критерий оптимизации U и модели $F(u)$ влияния управленческих действий u на критерий U , можно определить оптимальное решение U_0 как такое, которое экстремизирует соответствующий критерий качества [30, 40 и др.]

$$U_0 = U^{-1} \left[\underset{\{u\} \in \Omega}{extr} F(u) \right], \quad (17.4)$$

где Ω – область, в которой выполняются ограничения, имеющие место при реализации модели.

При этом имеется в виду, что множество решений $\{u\} \in \Omega$ может быть сопоставимо с их преимуществом, то есть возможно указать, какое из них имеет преимущество и насколько. В принципе такая постановка оптимизационной задачи не зависит от вида и характера объекта, а потому может быть применена для любого уровня управления или принятия решений.

Общая структура решения данного вопроса включает в себя выбор критерия, формирование условия и принятие функции оптимизации, выбор структуры расчетов в соответствии с уровнем сформулированной задачи и, наконец, построение экономико-математической модели и ее реализацию.

Сегодня имеем многочисленные примеры применения оптимизационного подхода для определения параметров мелиоративных систем и рациональных схем использования водных ресурсов при разработке методов принятия и обоснования технических решений в проектах строительства и реконструкции водохозяйственных и мелиоративных объектов, которые достаточно интенсивно разрабатывались в 70–80-е годы прошлого столетия как для зоны оросительных мелиораций (А. Е. Агрест, К. П. Арент, В. Н. Кардаш, А. П. Кисаров, К. А. Папелишвили, В. Г. Пряжинская, Л. М. Рекс, В. Г. Соломония, Н. С. Фелингер, К. И. Шавва, Б. Б. Шумаков и др.) [3, 4, 30, 46, 49, 73 и др.], так и зоны осушения переувлажненных земель (И. Г. Афанасик, П. И. Закржевский, Ю. А. Канцибер, А. И. Климок, Н. А. Лазарчук, И. В. Минаев, И. С. Рабочев, Л. М. Рекс, В. А. Розин, П. Б. Свиклис, В. Ф. Шебеко и др.) [5, 23, 31, 50, 75 и др.]. Кроме того, оптимизационный подход весьма успешно применялся для попыток решения ряда частных задач управления отдельными мелиоративными, в частности оптимальным режимом орошения выращиваемых культур (И. Г. Афанасик, Е. П. Галямин, П. И. Ковальчук, Н. А. Лазарчук, А. П. Лихацевич, Ю. Н. Никольский, В. П. Остапчик, В. А. Платонов и др.) [5, 12, 18, 23, 24, 40, 45 и др.] и агротехническими мероприятиями (оптимальные структуры посевов, дозы внесения удобрений и др.) (Е. Е. Жуковский, В. А. Платонов, А. П. Федосеев и др.) [40 и др.].

Однако, к сожалению, большинство этих разработок не вышли за рамки постановочного характера и не были доведены до широкого внедрения на производстве по выше рассмотренным причи-

нам, хотя в них были заложены самые современные теоретические принципы решения оптимизационных задач, которые не потеряли своей актуальности и сегодня. Остановимся на этих моментах более подробно.

Анализируя условия применения оптимизационного подхода, В. А. Платонов [40] приходит к выводу о том, что он оказался мало пригодным для решения действительно сложных задач при функционировании сложных природно-технических систем из-за отсутствия теории и методов формализации таких задач.

Оптимизационный подход может быть реализован только при четком формулировании целостной системной методологии, глубоком знании поведения оптимизируемой системы – ее динамики, критериев, действующих в системе в целом и ее подсистемах на каждом из этапов принятия решений.

Трудности такой формализации чрезвычайные, однако потенциально этот метод может дать более качественные решения хотя бы потому, что его реализация невозможна без построения количественных схем влияния внешних действий и управления на объект. Поэтому всегда, когда для этого есть реальные предпосылки, применение оптимизационного подхода к управлению целесообразно, и в первую очередь для реализации задач оптимизации на долгосрочной основе.

Применительно к объекту управления, рассматриваемому нами (водорегулирование осушаемых земель с выходом на конструктивные решения), имеют место все основные проблемы применения оптимизационного подхода в классическом виде.

Фундаментальным вопросом при постановке экстремальных задач является выбор *критерия оптимальности*, который должен давать возможность качественно подходить к прогнозированию и анализу действенности всех элементов исследуемой системы и возможных альтернатив рассматриваемых решений. Известны следующие общие рекомендации, которые целесообразно учитывать при выборе критерия оптимальности относительно сформулированной задачи [4, 15 и др.].

К ним, в частности, относятся:

- 1) требование соответствия критерия главному назначению объекта управления;
- 2) четкий физический смысл критерия и достаточная его универсальность, позволяющие сравнивать эффективность достаточно широкого класса управлений.

Как правило, выбор того или иного управления (или решения) вообще меняет сразу несколько показателей, что затрудняет сравнение альтернативных вариантов решений между собой. Поэтому обычно стараются назначить один показатель, при выборе которого возможны два таких подхода.

Первый подход предполагает построение обобщающего критерия по совокупности единичных показателей. Однако проблема синтеза такого обобщающего показателя качества, построенного по тому или иному принципу – равнозначности единичных показателей, их нормализации, суммирования взвешенных отдельных показателей при определении их веса экспертным путем и т. д., окончательно пока не решена, и такой подход на практике используется очень редко.

При втором подходе из совокупности единичных показателей выделяется главный, который и принимается в качестве оптимизируемого критерия. Другие показатели при этом рассматриваются как ограничения. Этот подход позволяет, видимо, подойти к более объективной оценке качества управления, но и он не лишен существенного недостатка.

Определяющее значение приобретает общее количество показателей-ограничений, которым должно удовлетворять решение рассматриваемой проблемы. Это связано с тем, что увеличение количества ограничений обычно также затрудняет нахождение оптимального решения, что, в свою очередь, может потребовать неоправданного упрощения модели объекта управления [40].

Поскольку водорегулирование оказывает различное влияние на процессы, происходящие на осушаемых землях, является многоцелевым по назначению и своей природе, характеризуется, как правило, совокупностью разнородных показателей, то, согласно научным исследованиям [6, 15, 40, 69], корректная постановка задачи его оптимизации требует векторности критерия оптимальности с чрезвычайно разнородными компонентами.

Отсюда вытекает необходимость обоснования или обобщающего критерия оптимизации, или главного критерия и совокупности других показателей (критериев) в виде ограничений при построении и реализации модели оптимизации, поиска других подходов к решению данной проблемы.

При современном уровне изученности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях как сложной системы управления попытки найти оптимальное управление неизбежно приводят к необходимости резкого повышения требований к детальности измерения параметров системы, точности прогнозирования процессов в системе, созданию существенно более полной модели объекта управления, знания производственных условий и т. д., что значительно усложняет решение рассматриваемых задач.

В то же время в исследованиях прикладного характера необходимо, чтобы точность решений соответствовала уровню сформулированной задачи. Согласно Л. М. Рексу [49] оптимума вообще, безотносительно конкретного количественного показателя эффективности, не существует. В связи с этим имеет смысл использование не столько *оптимальных*, сколько *рациональных* решений и формализации выбора именно рациональных методов управления.

Рациональные решения вырабатываются при *эвристическом подходе* к построению модели управления, который, в общем, основывается на интуиции, уровне профессиональной подготовки и опытности специалистов и заключается, главным образом, в формализации указаний и рекомендаций научных учреждений и передового опыта управления [40].

Этот подход позволяет получить оптимальные рекомендации без построения точной количественной модели управления объекта, а также предвидеть возможные изменения принципа оптимальности в процессе управления на уровне экспертных оценок специалистов.

Однако применение только эвристического подхода, когда процесс принятия решений рассматривается как «черный ящик», позволяет формализовать не столько процесс их принятия, сколько внешнее его обнаружение с сознательным игнорированием мотивации того или иного действия. Именно поэтому для построения модели управления водным и общим природно-мелиоративным режимами осушаемых земель, пожалуй, целесообразно применить предложенный В. А. Платоновым [40] так называемый *прагматичный* или *эвристико-оптимизационный подход*, включающий в себя элементы как эвристического, так и оптимизационного методов. Очевидно, этот метод построения алгоритмов управления в значительной степени сочетает преимущества обоих указанных подходов.

С одной стороны, он позволит учитывать существующую практику управления природно-мелиоративными процессами, опыт и интуицию специалистов, непосредственно участвующих в мелиоративном производстве, отсеивает заранее бесперспективные варианты инженерных решений, гарантирует получение оптимальных управлений – все это достоинства эвристического подхода.

С другой стороны, он включает имеющиеся количественные описания процессов на мелиорируемом поле и системе в целом, что является преимуществом оптимизационного метода. В этом случае, как отмечает Л. М. Рекс [49], окончательный выбор рационального решения осуществляется, как правило, неформальным путем – то есть сопоставлением сильных и слабых сторон рассматриваемой совокупности вариантов в разных ситуациях с учетом дополнительных факторов, которые не нашли соответствующего отражения в оптимизационных экономико-математических моделях.

Еще одним важным аспектом проблемы оптимизации водорегулирования осушаемых земель на долгосрочной основе является необходимость учета изменчивости климатических условий при формировании выбранных критериев качества, на основании которых обосновываются инженерные решения при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем.

Актуальность постановки и необходимость решения этого вопроса уже общепризнанны и аргументированно рассмотрены (К. П. Арндт и Е. А. Стельмах [4], И. П. Айдаров, А. И. Голованов и Ю. Н. Никольский [37], Е. Е. Жуковский [16], Л. М. Рекс [49] и др.).

Согласно обобщающим выводам Л. М. Рекса [49], полученных автором на основании экспертных оценок проектов различных типов систем в зонах оросительных и осушительных мелиораций, технико-экономические расчеты и проектирование систем или на средние (многолетние) условия, или условия определенного года заданной расчетной обеспеченности нельзя признать правильными. Поэтому очень важна и актуальна постановка проблемы оптимизации параметров мелиоративных систем вообще и гидромелиоративных систем в частности, создаваемых в различных природно-климатических зонах, с учетом вариации метеорологических условий (в многолетнем разрезе). Но для решения этого вопроса необходимо иметь соответствующие разработки.

Общие подходы к построению и реализации моделей оптимизации хозяйственных стратегий на различных уровнях принятия решений во времени с использованием данных о климате и метеорологические прогнозы при создании и функционировании сложных *метеоролого-экономических* (по определению Е. Е. Жуковского) систем изложены в его работе [16]. Здесь Е. Е. Жуковский ввел понятие *климатологической стратегии* при условии, что при ее использовании выбор конкретной хозяйственной альтернативы осуществляется однократно. При этом такая климатологическая стратегия будет *климатологически оптимальной*, если хозяйственное решение, определяемое по ней, обеспечит достижение экстремума выбранного критерия качества в соответствии с общей моделью оптимизации вида (см. 17.4).

На основании введенных определений автором рассмотрены вопросы поиска климатологически оптимальных стратегий для различных хозяйственных ситуаций с такими тривиальными (по определению Е. Е. Жуковского) климатологическими стратегиями, как ориентация на норму или на наибо-

лее вероятные метеорологические условия, возникающие в самых распространенных метеоролого-экономических системах дискретного типа, описываемых матричными моделями.

Как мы уже отмечали (пункт), мелиоративные системы на осушаемых землях в полной мере могут быть отнесены к такому типу сложных природно-технических эколого-экономических систем. Поэтому при разработке моделей оптимизации водорегулирования осушаемых земель на долгосрочной основе (первый и второй уровни принятия решений в проектах строительства, реконструкции и эксплуатации систем) могут быть использованы принципы и подходы определения климатологических оптимальных хозяйственных стратегий, изложенные в литературе [16]. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен ниже.

И, наконец, из рассмотренных предпосылок общей постановки задачи оптимизации водорегулирования на долгосрочной основе в пределах мелиоративной системы (метазадача), а также имеющихся принципов и подходов к решению оптимизационных задач в сложных природно-технических эколого-экономических системах вообще, возникает еще одна подзадача, связанная с необходимостью разработки моделей прогнозной оценки водного и общего природно-мелиоративных режимов осушаемых земель для установления их влияния на формирование урожая и создаваемый экономический и экологический эффекты и тем самым на формирование показателей (критериев качества), по которым будут разрабатываться соответствующие модели оптимизации.

Решение такой задачи требует, в свою очередь, разработки модели объекта управления низшего уровня в рамках системы, которым является мелиорируемое поле, где происходят сложные природно-техногенные процессы по формированию водного режима осушаемых земель под действием внешних как неуправляемых (природных), так и управляемых (мелиоративных) факторов, формируются общий совокупный эффект и значения характеризующих его показателей.

17.7. Структурная модель мелиоративной системы и мелиорируемого поля в задачах оптимизации водорегулирования осушаемых земель

17.7.1. Общие положения и предпосылки к разработке модели. Применение системного подхода требует анализа объекта управления, построения общей модели и составляющих субмоделей его поведения в изменчивых внешних условиях, постановку иерархии задач управления и разработку алгоритмов их решения путем математического моделирования.

В соответствии с исследованиями [49] в целом МС на осушаемых землях представляет собой совокупность как взаимосвязанных, так и территориально обособленных природно-агротехнических элементов ССВ (сельскохозяйственных мелиорируемых полей с выращиваемыми на них культурами) и технических элементов ГМС (дренаж, каналы, гидротехнические сооружения и т. п.), выполняющих функцию регулирования водного и общего природно-мелиоративного режимов в рамках системы. Это позволяет рассматривать такие элементы в первом приближении как отдельные по потокам информации, взаимодействия и т. д. (см. 17.4).

По литературным данным [40], как объект низшего уровня целесообразно рассматривать контур – территориально обособленную часть ССВ, относящуюся к одному полю проектного или планового севооборота, имеющего идентичные почвенно-мелиоративные условия и единую выращиваемую культуру. В таком случае понятия «контур» и «поле» совпадают. Кроме того, в пределах мелиорируемого поля чисто конструктивно обязательно присутствует технический элемент ГМС в виде регулирующей сети (осушительный или осушительно-увлажнительный дренаж, дождевальные машины и установки и т. п.).

Таким образом, в соответствии с общими системными принципами рассмотрения сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях [12, 18, 30, 40, 49 и др.] можно принять, что главными объектами управления для нас являются:

1) на низшем уровне – мелиорируемое поле (контур) с выращиваемыми сельскохозяйственными культурами и регулирующей сетью, а также сам процесс получения урожая и экологического эффекта с учетом сложного комплекса природных, агротехнических и мелиоративных факторов;

2) на среднем уровне – совокупность объектов промежуточного уровня, которые подразделяются в рамках системы или в соответствии с организационным принципом, когда обслуживание мелиорируемых полей осуществляется производственными подразделениями службы эксплуатации или техническим, технологическим, когда водорегулирование на совокупности мелиорируемых полей определяется режимом работы регулирующего гидротехнического сооружения (распределительный канал или трубопровод, шлюз, насосная станция и т. д.) соответствующего уровня подчинения согласно иерархической структуры построения системы;

3) на высшем уровне – система в целом. Задачей системы управления водным и общим природно-мелиоративным режимами осушаемых земель на этом уровне является достижение глобальной

цели и оптимизации критерия качества управления системой в целом при координации локальных целей и критериев качества управления отдельными составляющими элементами системы.

Функции управления (принятия решений) каждого уровня реализуются с помощью соответствующего алгоритма, который вмещает ряд процедур управления – совокупность взаимосвязанных операций, действий, расчетов, выполняемых на определенном интервале времени в процессе принятия решений [40].

Конечный элемент рассматриваемой иерархической структуры – мелиорируемое поле – также поддается нами (см. 17.4) дальнейшей детализации с целью рассмотрения и исследования отдельных составляющих процессов (водный режим и водорегулирование осушаемых земель, выращивание и получение урожая культур, создание экологического эффекта), происходящих на нем.

С учетом положений, изложенных в научных источниках [18,40], сформулируем следующие основные характерные черты технологического объекта низшего уровня, имеющие принципиальное значение при построении его модели:

- сложность процессов водорегулирования, условий формирования водного и общего природно-мелиоративного режимов под действием внешних неуправляемых природных (климатических и др.) и управляемых мелиоративных (способов и режимов водорегулирования) факторов, процессов формирования урожая, процессов энерго- и массообмена на поле, отсутствие соответствующих моделей и т. д.;

- значительное количество параметров состояния, а также факторов (внешних и внутренних), влияющих на выбор методов управления и решений, преимущественно качественный характер большинства анализируемых показателей;

- сочетание непрерывно-дискретного и последовательного характера прохождения процессов на каждом поле;

- сложность технических и технологических схем; случайный характер прохождения процессов на поле и их зависимость как от внешних природных факторов, так и от самих управлений; взаимосвязь этапов процесса и управлений на разных стадиях онтогенеза развития выращиваемых культур и формирования экологического эффекта;

- наличие многочисленных и разнообразных ограничений (технических, технологических, ресурсных и т. д.).

Для последующих более высоких уровней управления разница заключается лишь в масштабах прохождения процессов, а также добавляется значительное количество объектов управления как составляющих элементов системы в целом.

Исходя из изложенного, а также согласно исследованиям [6, 40] задача оптимизации водорегулирования осушаемых земель в полной мере может быть отнесена к классу слабо структурированных или смешанных (количественно и качественно выраженных) задач, которые приходится решать в организационных природно-технических эколого-экономических системах, к которым относятся мелиоративные системы на осушаемых землях.

Как показывают практика и накопленный опыт, решение таких задач имеющимися апробированными методами осуществить чрезвычайно трудно по ряду причин, имеющих концептуальный характер, главными из которых, на наш взгляд, являются:

- 1) окончательная неопределенность общих критериев экономической и экологической оптимальности ТТР по водорегулированию осушаемых земель, отсутствие возможности прямой оценки в стоимостном выражении экологической эффективности гидромелиоративных мероприятий, а также наличие значительного количества неформализованных ограничений организационного, психологического, социального и иного характера, которые часто имеют, наряду с эколого-экономическими, определяющее влияние на выбор решений в мелиоративном производстве;

- 2) практическое отсутствие общих комплексных моделей эколого-экономической оптимизации, а также соответствующих имитационных моделей по прогнозной оценке водного и общего природно-мелиоративного режима осушаемых земель на долгосрочной основе, влияния их на формирование урожая выращиваемых культур и создаваемый экологический эффект, которые бы, с одной стороны, достаточно адекватно описывали процессы, происходящие на мелиорированных землях под воздействием неуправляемых (природных) и управляемых (мелиоративных) факторов, и, с другой стороны, одновременно могли быть реализованы в условиях производства, то есть имели соответствующий ему уровень сложности, методического и информационного обеспечения по их реализации;

- 3) необходимость обязательного учета изменчивости климатических условий в многолетнем и внутривегетационном разрезе вместе с мелиоративными факторами определяет технические и технологические решения по водорегулированию при проектировании и эксплуатации мелиоративных объектов на осушаемых землях как сложных природно-технических эколого-экономических систем.

Водный режим осушаемых земель реализуется в рамках каждого отдельно взятого мелиорируемого поля, на котором выращивается определенная сельскохозяйственная культура. Интегральная оценка условий его формирования для совокупности полей проектного или планового севооборота позволяет характеризовать водный и общий природно-мелиоративный режимы в целом в рамках системы. Поэтому модель мелиорируемого поля является важнейшей составляющей иерархически связанной совокупности моделей по принятию инженерных решений при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем на осушаемых землях.

Мелиорируемое поле на осушаемых землях как сложный объект исследования и управления может быть аналогично предложению С. В. Нерпина и А. Ф. Чудновского [36], а также согласно представлению Л. М. Рекса [40] МС в виде сложной природно-технической системы, представлено схематично в виде сложной диффузной системы. Каждое звено такой системы, как и соответствующие подсистемы, взаимосвязаны с другими согласно структурной схеме, представленной на рисунке 17.3.

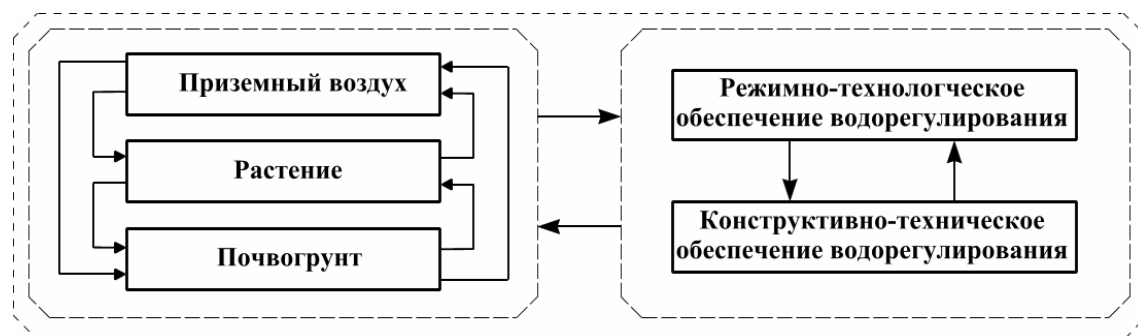


Рис. 17.3. Структурная схема мелиорируемого поля как элемента (подсистемы) сложной природно-агротелиоративной системы

Они так же, как системы более высокого уровня, представляют собой относительно самостоятельные подсистемы, нижестоящие по подчиненности с присущими только им особенностями функционирования и соответствующими характеристиками. При этом растение (сообщество растений) выступает как центральное звено *природно-агротехнической подсистемы* в структуре мелиорируемого поля, развитие и конечный урожай которой представляют очевидный интерес, прежде всего с экономической точки зрения.

Особенностями такой подсистемы является сложность взаимодействий и взаимоотношений как между составляющими ее элементами (например, между растением и окружающим его средой), так и внутри этих элементов как соответствующих сложных подсистем (например, между отдельными растениями и между органами одного и того же растения и т. п.). Кроме того, в такой системе имеет место наличие многочисленных обратных связей, различных констант времени этих связей и т. д.

Что касается *техничко-мелиоративной подсистемы*, то она, с одной стороны, является абсолютно управляемой и влияет как техногенный фактор на условия формирования общего эколого-экономического эффекта в пределах мелиорируемого поля. Но, с другой стороны, результат взаимодействия этих подсистем из-за преобладающего стохастического характера функционирования природно-агротехнической подсистемы содержит элемент неопределенности (или непредсказуемости), обусловленный выше рассмотренными причинами.

Реакции водного режима осушаемых земель и соответственно посева культур на воздействие окружающей среды вместе с техногенным фактором отличаются задержками во времени, кумулятивными эффектами, стохастическим характером зависимостей и т. д. Поэтому такую систему следует рассматривать как диффузную, модель которой может быть создана только в рамках некоторых обобщенных упрощенных представлений о процессах, происходящих на мелиорируемом поле [36 и др.].

Системный подход дает ту необходимую общую методологическую основу, которая, по крайней мере потенциально, может обеспечить комплексное решение проблемы описания целостного поведения диффузных или сложных динамических систем, к которым относится система *почва – растение – приземный воздух* (см. пункт 17.4), посредством которой схематически представлено мелиорируемое поле на осушаемых землях.

Главными теоретическими предпосылками, взятыми нами за основу при разработке общей модели мелиорируемого поля на осушаемых землях, были общие принципы и подходы к решению аналогичного вопроса в зоне оросительных мелиораций, а также имеющиеся методы описания условий функционирования отдельных составляющих звеньев системы *почва – растение – приземный воздух* на мелиорированных землях как в зоне орошения, так и осушения.

Отметим, что впервые необходимость построения и наиболее корректная постановка задачи создания общей модели орошаемого поля в задачах оптимизации условий влагообеспеченности были выполнены В. А. Платоновым [36, 40]. Он выдвинул тезис о том, что количественная оценка поведения системы почва – растение – приземный воздух возможна только при наличии динамической модели, имеющей такой общий неявный вид

$$\bar{x}(\tau) = \varphi(x, q, p, a, \tau), \tag{17.5}$$

где x, q, p, a – векторы соответственно состояния системы, неуправляемых внешних воздействий, поливов и параметров системы.

Как мы отмечали, центральным звеном системы почва – растение – приземный воздух выступают выращиваемая культура и ее урожай. Именно поэтому большинство авторов уделяют основное внимание этому важному звену рассматриваемой системы. Но при этом необходимо отметить одно главное противоречие, которое, бесспорно, с нашей точки зрения, должно быть учтено и по возможности устранено при построении общей модели мелиорируемого поля вообще и на осушаемых землях в частности.

Рассматривая динамические модели развития посевов выращиваемых культур на мелиорированных землях, ряд авторов наиболее известных таких моделей, в частности тот же В. А. Платонов, Е. П. Галямин [12], Р. А. Полуэктов [42], А. М. Полевой [41], И. А. Полетаев и др., разделяют мнение о том, что текущее состояние развития посева определяется всей предысторией его развития, а тепло- и влагообеспеченность посева зависят как от состояния растений, так и метеорологической обстановки и содержания влаги в почве. Но используемая ими структура построения этих моделей, аналогичная (17.6), не соответствует такому требованию. То есть процесс наращивания биомассы или потерь урожая культур на каждом расчетном шаге, определяемом по таким моделям, рассматриваются по В. А. Платонову как независимый, а потому изменения исследуемых параметров в любой момент времени определяются только текущим состоянием системы $x(\tau)$ и не зависят от предыстории ее развития. Это объясняется тем, что марковский характер соответствующего процесса используется во всех известных нам моделях, хотя их авторы не оговаривают это обстоятельство специально.

Итак, поскольку выращиваемая культура входит составной частью в общую модель мелиорируемого поля в виде системы почва – растение – приземный воздух и находится во взаимосвязи с другими звеньями системы, бесспорным должен быть тот факт, что текущее состояние развития такой системы и каждого ее звена за любой промежуток времени в течение вегетации и на его конец должно определяться всей предысторией развития системы. Согласно Л. С. Лесдону [25] такого рода временной процесс имеет место в дискретной во времени динамической системе (рис. 17.4).

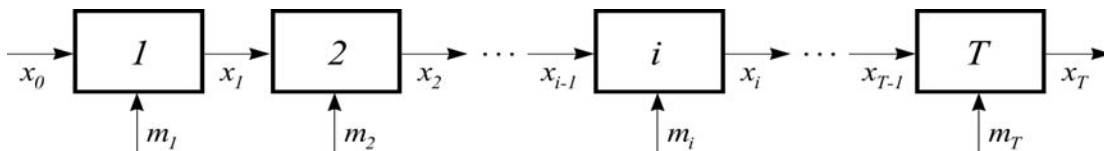


Рис. 17.4. Динамическая система, дискретная по времени

Здесь величина x_i есть n_i – вектор, представляющий состояние процесса, тогда как m – вектор управлений (действий), причем то и другое относится к моменту времени $\tau = i$. Состояние процесса эволюционирует во времени согласно разностному уравнению

$$x_i = g_i(x_{i-1}, m_i, i), \quad x_0 - \text{заданное}; \quad i = \overline{1, T}. \tag{16.7}$$

Полный выход (прибыль) от действия системы за время T предполагается как сумма доходов на каждом этапе

$$\sum_{i=1}^T f_i(m_i, x_i, i). \tag{17.7}$$

Таким образом, применение данного подхода может быть вполне оправданным при построении моделей урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур на осушаемых землях.

17.7.2. Принципы построения и реализации модели. Поскольку различных признаков и связей в реальном объекте рассматривается неизмеримо много, решающим условием построения его модели, пригодной для практического использования на производстве, является учет таких его характеристик и свойств, в наибольшей степени удовлетворяющих целям, ради которых строится модель.

Поэтому по аналогии с моделью В. А. Платонова (17.5) и на основании модели Л. С. Лесдона (17.7), модель мелиорируемого поля на осушаемых землях в общем неявном виде как модель дис-

кретной во времени рассматриваемой динамической системы может быть представлена следующим уравнением [52]

$$\vec{x}_\tau = \varphi_\tau(x_{\tau-1}, q_\tau, p_\tau, a_\tau, \tau), \tau = \overline{1, T}, \quad (17.8)$$

где \vec{x}_τ – n -вектор, представляющий состояние процессов на мелиорируемом поле в любой момент времени τ (где τ – шаг дискретизации модели) при заданном начальном его значении x_0 .

Другими составляющими уравнения (17.9) являются m -векторы управлений (воздействий): неуправляемых природных (прежде всего метеорологических) факторов q_τ , управляемых мелиоративных (способов водорегулирования) p_τ и параметров системы a_τ – относящихся к моменту времени τ . Параметр $x_{\tau-1}$ – вектор состояния развития системы за предыдущий период.

Тогда согласно (17.8) полный выход (прибыль) от действия системы за время $T = \sum \tau$ (период вегетации) определится как сумма доходов на каждом из промежуточных этапов по τ

$$\sum_{\tau=1}^T f_\tau(x_\tau, q_\tau, p_\tau, a_\tau, \tau). \quad (17.9)$$

Ожидаемое решение уравнений (17.9) и (17.10) позволит спрогнозировать и оценить состояние процессов на мелиорируемом поле для любого способа (режима) водорегулирования осушаемых земель, задаваемых вектором p_τ и конкретной агрометеорологической обстановкой – q_τ при заданном начальном условии x_0 .

Представленная структура общей модели мелиорируемого поля в достаточной мере соответствует сути процессов, происходящих на осушаемых землях в различных природно-мелиоративных условиях с учетом предварительно достигнутых результатов на каждом из расчетных (в соответствии с шагом дискретизации модели) интервалов времени в течение периода вегетации.

В дальнейшем необходимо ориентироваться на модель системы, рассматриваемой в виде комплекса (совокупности) иерархически связанных имитационных субмоделей, описывающих условия функционирования каждого звена такой системы:

– *природно-агротехнической подсистемы* мелиорируемого поля вида *почва – растение – приземный воздух* на осушаемых землях – модель метеорологических условий местности; модель водного режима; модели развития и формирования урожая выращиваемых культур;

– *техничко-мелиоративной подсистемы* мелиорируемого поля для режимно-технологического и конструктивно-технического обеспечения водорегулирования осушаемых земель – модели параметров технологий и модели параметров конструкций регулирующего элемента (подсистемы) ГМС в составе МС.

Подводя итоги выполненного теоретического анализа и решения очерченной задачи, считаем необходимым отметить, что общая модель мелиорируемого поля на осушаемых землях и комплекс субмоделей, описывающих ее отдельные звенья, должны иметь универсальный, насколько это возможно, характер, а уровень их сложности, информационного обеспечения и точности получаемых результатов должны быть такими, которые позволят применять эти субмодели для реализации общих комплексных моделей оптимизации водорегулирования осушаемых земель в условиях производства.

17.8. Общие положения и предпосылки к разработке прогнозно-имитационных моделей

В практике реализации гидромелиораций прогнозные режимные инженерно-мелиоративные расчеты на основе соответствующих методов и моделей традиционно положены в основу обоснования проектных решений по водорегулированию (технологий регулирования водного режима, соответствующих конструкций мелиоративных систем, проектных режимов увлажнения, системных планов водорегулирования и т. д.). Но эти методы и модели создавались преимущественно в 50–70-е годы прошлого века и позволяют обосновывать такие решения только на уровне их необходимости и возможности реализации, не позволяя их эффективно использовать в прогнозно-оптимизационных расчетах на эколого-экономических принципах. Главный же системный принцип построения моделей сложных систем заключается в том, что анализ необходимо выполнять от общего к частному, при условии сохранения целостности всей картины рассматриваемого на любой стадии анализа [9 и др.].

В соответствии с использованным системным подходом основой создаваемого комплекса имитационных субмоделей по прогнозу климатических условий местности, водного режима и продук-

тивности осушаемых земель является модель мелиорируемого поля в структуре общей модели мелиоративной системы, где реализуются в своем единстве режимные, технологические и технические аспекты водорегулирования.

Таким образом, построение общей модели мелиорируемого поля на осушаемых землях может быть сведено к построению совокупности иерархически связанных субмоделей, описывающих условия функционирования каждого из выделенных звеньев как природно-агротехнической, так и технически мелиоративной подсистем с соответствующей структурой связей между ними (рис. 17.4).

Еще одним условием построения моделей сложных систем является упрощение сложных исходных моделей, по которым можно исследовать поведение объекта в более широком диапазоне условий его функционирования, чем на более точной, но значительно более сложной модели. А это значит, что управленческие или технические решения можно получить более приближенными к идеальным или оптимальным [40, 49 и др.].

Всвязи со сложностью рассматриваемых задач не приходится сомневаться: как модели отдельных процессов (звенья системы), происходящих на мелиорированных землях, так и общая модель мелиорируемого поля и системы в целом могут быть созданы только на базе использования принципов *имитационного моделирования*. Сущность последнего заключается в построении, исследовании и последующем применении машинной модели функционирования исследуемого объекта, включая и модель принятия решений на разных стадиях управления [34].

Согласно Л. М. Гореву [14] метод имитационного моделирования является исключительно эффективным, а в ряде случаев и единственно возможным для получения количественной оценки и прогнозирования состояния водных экосистем, определения реакций экосистем на воздействие природных и техногенных факторов. Применение имитационных математических моделей не ограничивается описанием различных процессов. Без имитационного моделирования нельзя решить наиболее сложные задачи, возникающие при разработке систем управления окружающей средой и водными экосистемами, их оптимизации.

По мнению А. В. Яцика [78], есть основания утверждать, что сочетание методов системного анализа с методами имитационного моделирования представляет собой интегральный метод системного моделирования – в настоящее время самый высокий этап в развитии экологического моделирования.

Технологические и технические решения по водорегулированию на мелиорированных землях относятся к классу систем, описание которых целесообразно выполнять с помощью динамических имитационных моделей, имеющих блочную структуру с относительно автономными взаимодействующими блоками. Каждый блок такой системы предназначен для описания относительно самостоятельной части объекта. При необходимости он может быть заменен другим своим вариантом, более детальным или наоборот – более агрегированным. Это обеспечивает высокую адаптивную способность модели к решаемой задаче [12, 40, 42 и др.].

В соответствии с рассмотренными предпосылками, а также на основании обобщения имеющегося опыта длительного исследования процессов, происходящих на осушаемых землях, рассмотрения и в развитие положений, изложенных другими исследователями [12, 36, 40, 41, 42], можно сформулировать следующие основные специфические требования, которые необходимо учитывать при построении комплекса имитационных моделей в структуре общей модели мелиорируемого поля на осушаемых землях.

Модели должны:

1. Учитывать сложность взаимодействий и взаимоотношений между всеми составляющими звеньями природно-агротехнической и технико-мелиоративной подсистем, имеющих в целом выраженный динамичный и диффузный характер, а также то, что текущее состояние развития системы и каждого ее звена в любой промежуток времени в течение периода вегетации и на его конец определяется всей предысторией развития системы. Значит, иметь общую структуру построения, характерную для моделей, описывающих динамические системы дискретные во времени, вида (17.7).

2. Описывать процессы, происходящие на мелиорируемом поле, на уровне, который позволяет использовать как данные многочисленных экспериментов на ЭВМ, полученные по соответствующим имитационным моделям, так и богатый эмпирический материал, полученный в результате многолетних полевых исследований. Это значительно увеличивает количество обрабатываемого материала и дает возможность выполнить более корректное определение и оценку отдельных влияющих факторов на исследуемые процессы.

3. Описывать характер изменения всех процессов и влияние прежде всего на продуктивность выращиваемой культуры условий тепло- и влагообеспеченности посева в течение периода вегетации.

4. Быть относительно несложными, содержать наименее возможное количество параметров, которые имеют конкретный физический смысл и могут быть определены количественно и проконтролированы в производственных условиях.

Принятие оптимальных решений при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем на осушаемых землях требует в процессе решения задачи на ЭВМ перебирать достаточно большое количество возможных альтернативных вариантов способов и схем водорегулирования через вычисление соответствующих траекторий фазовых координат модели.

В зависимости от сложности модели требуется разное время для ее прогона и принятия соответствующего решения. При этом главным условием, с нашей точки зрения, выступает возможность информационного обеспечения и контроля работы модели в производственных условиях. Это обстоятельство накладывает определенные ограничения на степень детальности описания поведения объекта управления, то есть модели должны иметь определенный уровень сложности (простоты), обеспечивающий реальную возможность их использования как с технической, так и экономической точек зрения, тогда как с усложнением моделей резко возрастает количество параметров, имеющих физический смысл, оценка и контроль которых, особенно в условиях производства, становятся практически невозможными.

5. Поскольку точность оценки параметров агрофизических, биологических и сложных природно-технических эколого-экономических объектов, в общем-то, незначительна, модели должны быть качественно инвариантными по отношению к малым изменениям их параметров, или параметрически «грубыми», то есть свойства моделей не должны скачкообразно изменяться при малых вариациях параметров.

В таком случае целостная модель мелиорируемого поля представляет собой систему (комплекс) иерархически связанных субмоделей (пункт 17.7), аналогичных по структуре построения модели (17.9):

– для климатических условий местности или метеорологических режимов

$$\bar{X}_\tau = X_\tau(X_{\tau-1}, q_\tau, p_\tau, a_\tau^f, \tau), \tau = \overline{1, n_\tau}; \quad (17.11)$$

– для водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель

$$\bar{W}_\tau = W_\tau(W_{\tau-1}, q_\tau, p_\tau, a_\tau^g, \tau), \tau = \overline{1, n_\tau}; \quad (17.12)$$

– для продуктивности осушаемых земель

$$\bar{Y}_\tau = Y_\tau(Y_{\tau-1}, q_\tau, p_\tau, a_\tau^k, \tau), \tau = \overline{1, n_\tau}. \quad (17.13)$$

Здесь модель водного режима и технологии водорегулирования связывает между собой параметры режимов и технологий, а потому имеет универсальный характер и является базовой в создаваемом комплексе прогнозно-имитационных моделей по обоснованию проектных решений на эколого-экономических принципах.

Что касается моделей параметров конструкций, то для этого могут быть использованы имеющиеся достаточно теоретически обоснованные и апробированные на производстве методы и модели расчета составляющих технических элементов ГМС, в основу которых положены теоретические основы движения воды в природных и технических системах, рассматриваемых в гидромеханике и гидравлике. Представленные в неявном общем виде имитационные субмодели (17.11)–(17.13) требуют дальнейшей разработки и доведения их до вида, пригодного для использования в условиях производства.

17.9. Общие модели оптимизации проектных решений на эколого-экономических принципах с учетом климатологической стратегии управления мелиоративными объектами по уровням принятия их во времени

17.9.1. Принципы построения моделей. По результатам рассмотренных предпосылок и выполненного теоретического анализа комплекса вопросов, связанных с общей постановкой и путями решения проблемы оптимизации водного и общего природно-мелиоративного режимов, а также существующими подходами к решению оптимизационных задач в сложных природно-технических эколого-экономических системах в целом, модель оптимизации водорегулирования осушаемых земель в соответствии с принятым за основу оптимизационным подходом, может быть представлена аналогично (17.5) в общем неявном виде как [51, 53]

$$U_0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} U_i, i = \overline{1, n_i}, \quad (17.14)$$

где U_0 – экстремальное значение по принятому условию выбранного критерия оптимизации U , что соответствует оптимальному (рациональному) решению из совокупности возможных альтернативных вариантов $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$.

Согласно Е. Е. Жуковскому [16] любая метеоролого-экономическая система дискретного типа в общем случае описывается прямоугольной матрицей размерностью $n_i \times n_p$, элементы которой в виде «функции полезности» $u_{ip} = u(I, P), i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}$ характеризуют значения критерия U , соответствующие различным парам (I, P) , когда принятые решения совокупности $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$ реализуются при определенных метеорологических условиях в расчетные по влагообеспеченности периоды вегетации совокупности $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p}$.

При этом должны быть известны (установлены или заданы) значения повторяемости или долей $\alpha_p, p = \overline{1, n_p}$ возможного состояния типичных метеорологических режимов в расчетные периоды вегетации в пределах проектного срока функционирования системы, приведенного к 1, т. е.

$$\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1.$$

Тогда, следуя байесовскому подходу [16, 47, 1 и др.], можно утверждать, что средние (в статистическом смысле) значения критерия оптимизации для каждого решения с учетом *климатологической стратегии* управления объектом в многолетнем разрезе будут определяться по формуле

$$U_i = \sum_{p=1}^{n_p} u(I, P) \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}. \quad (17.15)$$

При построении и реализации экономико-математических моделей оптимизации водорегулирования осушаемых земель в соответствии с рассмотренными принципами взятого нами за основу оптимизационного метода с учетом выбора климатологической стратегии управления объектом, в принципе согласно А. П. Лихацевичу [24], могут быть использованы как ценовой (экономический, весовой), так и энергетический подходы. Но поскольку очень перспективный в силу своей универсальности энергетический подход к реализации моделей оптимизации находится все еще на стадии разработки и в настоящее время практически нет возможности определить прямые стоимостные показатели экологической целесообразности гидромелиоративных мероприятий в зоне осушительных мелиораций, рассмотрены и приняты на практике критерии и условия оптимизации (минимизация приведенных затрат, максимизация чистого дохода и др.) характеризуют прежде всего экономическую эффективность принимаемых решений. Они являются необходимыми, но недостаточными для оценки общей эколого-экономической эффективности их реализации. Поэтому такие модели необходимо дополнить дополнительными условиями и ограничениями по определенной, обоснованной и принятой к рассмотрению совокупности физических показателей (критериев) оценки водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель: по режиму РГВ или влажности почвы; величине, интенсивности и направленности влагообмена; индексу радиационного баланса и др. [37, 57 и др.].

По таким показателям, по сравнению с их предельными значениями в соответствии с конкретными почвенно-мелиоративными условиями реального объекта, можно согласно [37] предусмотреть направленность процессов, происходящих на мелиорированных территориях под воздействием природных и мелиоративных факторов и тем самым неявно оценить экологический эффект от реализации гидромелиоративных мероприятий.

Формально это может быть представлено как

$$Z_{ji} \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} \widehat{Z}_j, j = \overline{1, n_j}, i = \overline{1, n_i}, \quad (17.16)$$

где Z_{ji} – совокупность $\{j\}, j = \overline{1, n_j}$ физических показателей (критериев) экологической эффективности водорегулирования осушаемых земель по совокупности принимаемых решений $\{i\}, i = \overline{1, n_i}$;

\widehat{Z}_j – соответствующие лимитирующие значения заданной совокупности показателей.

Суть предложенного подхода заключается в многокритериальной экспертной оценке условий формирования водного режима и его влияния на другие составляющие общего природно-мелиоративного режима земель в различных природно-мелиоративных условиях через сопоставление потребностей растений, почв и охраны природы при регулировании водного режима мелиорированных земель.

В целом применение такого подхода для определения экологической целесообразности гидро-мелиораций в достаточной степени согласуется с методом *имитационной оптимизации*, который, по Л. М. Гореву [14], основан на принципе вывода результатов имитационного моделирования на лимитирующие показатели путем изменения режима функционирования процесса из-за влияния на элементы его управления.

Реализация этого принципа осуществляется по схеме

$$\text{ЭУ} \Leftrightarrow \text{МИА} \Leftrightarrow \text{ЛП},$$

где ЭУ – элементы управления процессом, МИА – математический имитационный аппарат, ЛП – лимитирующие показатели.

Исходя из специфики оптимизации экологических систем как сложных природно-технических эколого-экономических систем данным методом предполагается вывод результатов имитационного моделирования на один или несколько групп лимитирующих показателей, которые локализируются в отдельных ее составляющих. Результатом оптимизации является информация об оптимальном эксплуатационном режиме системы с учетом ее технического обеспечения, реконструкции, экономической целесообразности, изменения во времени лимитирующих показателей.

Что касается показателей (критериев) экологической эффективности водорегулирования, то из рассмотренных авторами [37] общих показателей мелиоративного режима три показателя – влажность почвы W , глубина УГВ H_g и влагообмена $\pm V$ – в значительной степени определяют интенсивность биологического и геологического круговоротов воды и веществ на мелиорированных территориях. При этом согласно сравнительным диаграммам, составленным на основании обобщения как многочисленных собственных данных авторов [37], так и обобщенных ими литературных данных других исследователей, полученных в различных природно-климатических зонах, обосновано, что стремление к повышению урожайности выращиваемых культур и одновременно необходимость повышения плодородия почв и охраны природы вызывают противоречивые потребности в регулировании таких показателей водного режима, как влажность почвы (\bar{W}) и РГВ (\bar{H}), представленных в относительном виде.

Из этого следует, что за счет водорегулирования на мелиорированных землях практически невозможно одновременно и в полной мере обеспечить максимальный рост урожайности культур, наиболее интенсивное развитие почвообразующих процессов и наиболее полную охрану окружающей среды. Можно только уменьшить некоторые противоречия между изменениями этих факторов.

Поэтому, как было показано (см. пункты 17.3; 17.517.5), и необходимы постановка и решение задач оптимизации водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель на различных уровнях принятия ТТР по их регулированию во времени, которые должны основываться наравне с реализацией оптимизационного метода, совместным использованием как устоявшихся технико-экономических показателей и экономических критериев, так и прогнозирования соответствующих физических показателей (критериев) экологической оценки природно-мелиоративных режимов для возможных альтернативных вариантов конструкций ГМС, схем и режимов их работы в различных природно-мелиоративных условиях.

Кроме того, в зависимости от конкретных условий рассматриваемого объекта общая оптимизационная модель может быть дополнена необходимыми ограничениями по видам, структуре посевов и величине урожая выращиваемых культур, объему использования воды на увлажнение и т. п.

Таким образом, решение проблемы оптимизации водорегулирования осушаемых земель на долгосрочной основе может быть представлено структурно в виде нахождения рациональных (экономически целесообразных и экологически приемлемых) решений при проектировании и плановой эксплуатации мелиоративных систем по комплексным моделям оптимизации через совокупность разнородных (стоимостных и физических) критериев, определенных с учетом климатологической стратегии управления объектом. Такие решения, с одной стороны, характеризуют непосредственно их экономическую эффективность, определенную по количественной экономико-математической модели, построенной на основе апробированного оптимизационного метода, а с другой – экологическую приемлемость их реализации, определенную неявно через обоснованную совокупность физических показателей (критериев) водного и общего природно-мелиоративного режимов, по которым можно с достаточной степенью достоверности предсказать направленность процессов, происходящих на мелиорированных территориях во времени под воздействием природных и мелиоративных факторов.

При этом определение основных технико-экономических показателей и соответствующих экономических (главных) критериев, по которым будут построены и реализованы экономико-математические модели, так и принятой совокупности критериев экологической эффективности водорегулирования осушаемых земель, представленных в общей модели оптимизации в виде дополнительных условий и ограничений, должны основываться на использовании единого комплекса имитационных субмоделей по их прогнозной оценке на долгосрочной основе.

В связи с тем, что общая эффективность гидромелиоративных мероприятий в значительной степени зависит от случайных процессов, которые не поддаются точному учету, планирование этих мероприятий на долгосрочной основе как стадия проекта должно в той или иной степени опираться на статистическую оценку этих процессов и вариантную проработку [49].

В результате изменчивого характера условий увлажненности почв и колебания урожайности изменяется объем подачи или отвода необходимого количества воды на мелиорированных землях. Это обусловило введение в практику гидромелиораций специального показателя – *расчетной обеспеченности*, который отражает вероятность того, что определенное количество воды для осушения или увлажнения будет не больше или не меньше какой-то гарантированной величины (или равно ей), на которую рассчитаны параметры и выработка продукции системы. Под параметрами здесь имеются в виду величины (площадь водорегулирования, размеры регулирующих сооружений и т. п.), определяющие, в свою очередь, размеры и производительность мелиоративной системы и соответственно затраты на ее создание и эксплуатацию.

Так что все характеристики режима водорегулирования, а также мелиоративной системы и составляющих ее технических элементов, представляются в вероятностной форме; соответственно планирование гидромелиоративных мероприятий и проектирование мелиоративной системы и управления ими должны обеспечивать получение ожидаемого эффекта, опираясь на вероятностный прогноз предполагаемых природно-мелиоративных условий.

Таким образом, результаты сельскохозяйственной деятельности на мелиорированных землях и соответственно эффективность проектных решений и капитальных вложений в мелиорацию зависят не только от обеспеченности материальными ресурсами и степени их использования, но и от наличия или отсутствия необходимых природно-климатических и почвенных ресурсов, биологических особенностей выращиваемых сельскохозяйственных культур и т. п. По этому, по А. Д. Саваренскому [4], представляется вполне естественным и логичным, имея исходные условия, сначала задаваться различными вариантами мелиоративных систем с разными параметрами, затем определять технико-экономические показатели этих вариантов и, наконец, выбирать самый выгодный вариант проектного решения с его соответствующей расчетной обеспеченностью.

В развитие такого подхода Ц. Е. Мирцхулава [33] отмечает, что при проектировании с учетом надежности важно решать задачу оптимальности технических решений, которая может быть сведена к поиску определенной оптимальной надежности, которую можно определять, исходя из минимальных затрат на выполнение задач, поставленных перед системой.

Таким образом, расчетная обеспеченность как *гидрологическая характеристика*, отражающая вероятность превышения заданной расчетной величины, и как *техническая характеристика*, отражающая уровень надежности функционирования конструктивных элементов и системы в целом, а также как *экономическая характеристика*, отражающая уровень капитальных затрат на создание объектов соответствующей надежности – играет чрезвычайно важную роль при постановке и решении задач оптимизации проектных решений на мелиорированных землях.

К сожалению, существующая практика определения параметров водохозяйственных и мелиоративных объектов основана на нормировании уровня расчетной обеспеченности путем назначения определенного процента ее величины, по которой определяются необходимые размеры технических элементов и систем в целом. Такой фиксированный уровень расчетной обеспеченности действует как закон для всех объектов, независимо от их местонахождения относительно зональных природно-климатических, почвенных, хозяйственных и других важных факторов, которые определяющим образом влияют на эффективность функционирования этих объектов. Поэтому, как показывают практика и накопленный опыт, это приводит, как правило, к неоправданному как с экономической, так и экологической точек зрения превышению или преуменьшению уровня капиталовложений и дохода и, таким образом, снижает эффективность реализации гидромелиоративных мероприятий, что не соответствует современным требованиям необходимости создания и функционирования ГМС на эколого-экономических принципах.

Ключ к решению данного вопроса, по нашему мнению, лежит в необходимости замены традиционного подхода через нормирование расчетной обеспеченности на ее определение (обоснование) в

зависимости от конкретных природно-агроемелиоративных условий каждого реального объекта. Для этого также требуется система оптимизационных и прогнозно-имитационных моделей, которая позволит спрогнозировать и оценить общую эколого-экономическую эффективность проектных решений по всему имеющемуся спектру природно-агроемелиоративных условий исследуемого объекта.

Рассмотрение гидромелиоративной системы как сложной природно-технической эколого-экономической системы определяет необходимым условием нахождения общего оптимума в такой системе на основе *системной оптимизации*, суть которой заключается в нахождении в идеале всех промежуточных и локальных оптимумов по всем ее основным составляющим водорегулирующим элементам (дренаж, шлюз-регулятор, насосная станция, главная дрена), всем основным переменным в пространстве и времени факторам, влияющим на эффективность водорегулирования (климат, рельеф, выращиваемые сельскохозяйственные культуры, технологии водорегулирования и др.), а также всем составляющим системы *эффект – режим – технология – конструкция* для всех соответствующих уровней иерархии построения и реализации соответствующей модели оптимизации.

Кроме того, системная оптимизация должна предусматривать возможность обоснования оптимального проектного решения относительно типа и конструкции ГМС или составляющих их технических элементов на существующей системе определенным или заданным уровнем экономической (урожайность сельскохозяйственных культур) и экологической эффективности функционирования исследуемого объекта.

Итак, с учетом изложенного могут быть сформулированы основные теоретические положения и принципы построения общих моделей оптимизации проектных решений по водорегулированию осушаемых земель на эколого-экономических принципах с учетом климатологической стратегии управления мелиоративными объектами по уровням принятия их во времени.

На *стадии проекта* нового строительства или реконструкции МС проектные ТТР принимаются лишь один раз, и последующие корректировки заложенных в них стратегий управления объектом в соответствии с изменением погодных условий уже невозможны или нецелесообразны. Из-за практической несостоятельности спрогнозировать реальный характер их изменения в пределах проектного срока функционирования МС (30–50 лет), эта стратегия может быть реализована следующим образом [55, 56].

С учетом (17.14) и (17.16) в соответствии с комплексной моделью оптимизации оптимальное проектное решение в общем виде может быть определено как

$$\begin{cases} U_0 = \text{extr}_{\{i\}} U_i = \overline{1, n_i}; \\ Z_{0j} = \min_{\{i\}} |Z_{ji} - \widehat{Z}_j|, \quad j = \overline{1, n_j}; \quad i = \overline{1, n_i}. \end{cases}, \quad (17.17)$$

где U_0 – экстремальное значение по принятому условию выбранного критерия экономической оптимальности U , соответствующее оптимальному ТТР из совокупности возможных вариантов $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$;

Z_{ji} – совокупность $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ критериев (физических показателей) экологической эффективности соответствующих вариантов ТТР;

\widehat{Z}_j – соответствующие принятым лимитирующие показатели экологической эффективности рассматриваемых вариантов.

Варианты проектных ТТР совокупности $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ составляются по различным технологиям водорегулирования осушаемых земель и соответствующим им конструктивным решениям по ГМС и их техническим элементам.

Тогда, аналогично (17.15), значения критериев экономической и экологической оптимизации для каждого проектного решения с учетом климатологической стратегии управления объектом в многолетнем разрезе определяются по формулам:

$$U_i = \sum_{p=1}^{n_p} u(I, P) \cdot \alpha_p, \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (17.18)$$

$$Z_{ji} = \sum_{p=1}^{n_p} z_j(I, P) \cdot \alpha_p, \quad j = \overline{1, n_j}; \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (17.19)$$

В развитие этого, *оптимальный уровень расчетной обеспеченности*, определяющий параметры конструктивных решений в проекте конкретного объекта, может быть определен, в отличие от принятой практики ее нормирования, также на эколого-экономических принципах, с учетом имеющихся природно-агротелиоративных условий по соответствующей комплексной оптимизационной модели [54]

$$\begin{cases} p_0 = \underset{\{p\}}{\text{extr}} U_0(P), \quad i = i_0; p = \overline{1, n_p}; \\ Z_{0j} \geq \widehat{Z}_j, \quad j = \overline{1, n_j}, \end{cases} \quad (17.20)$$

где p_0 – оптимальная типичная схема природно-климатических условий объекта по соответствующей расчетной обеспеченности периода вегетации из совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$, установленная по экстремуму функции $U_0(P)$, построенной для экономически оптимального проектного решения $i = i_0$;

Z_{0j} – совокупность $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ критериев экологической эффективности при $i = i_0$.

На *стадии технологической подготовки к следующему сезону* для существующей ГМС необходимо обосновать стратегию водорегулирования в следующем году при неопределенном характере погодных условий.

Здесь климатологическая стратегия управления объектом возможна через обоснование оптимальных технологий водорегулирования для каждой схемы типовых погодных условий принятой совокупности $P = \{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ по модели, аналогичной модели (17.17)

$$\begin{cases} U_{0p} = \underset{\{i\}}{\text{extr}} U_{ip}, \quad i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}; \\ Z_{0jip} = \min_{\{i\}} |Z_{jip} - \widehat{Z}_j|, \quad j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}. \end{cases} \quad (17.21)$$

Реализация комплексных оптимизационных моделей требует определения показателей и критериев экономической и экологической эффективности проектных решений, которые формируются, прежде всего, в пределах мелиорируемого поля. Интегральная их оценка по совокупности полей проектной или планового севооборота в структуре ССВ и по техническим элементам ГМС позволит характеризовать эколого-экономический эффект для МС в целом.

17.9.2. Принципы реализации моделей. Как показывает анализ, все составляющие общей модели оптимизации, такие как технико-экономические показатели, входящие в состав экономико-математических моделей (капитальные вложения, стоимость полученной продукции растениеводства, текущие сельскохозяйственные и мелиоративные затраты и др.), а также экологические показатели (критерии) водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, определяются принятыми способами и схемами водорегулирования, являются переменными и зависят от многих факторов, главными из которых выступают природно-климатические, почвенно-мелиоративные, рельефные, агротехнические и другие условия объекта. Они схематически могут быть представлены в виде исходных данных для постановки и решения указанных оптимизационных задач через совокупности соответствующих множественных показателей:

– метеорологических станций или постов $\Omega = \{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$, их долей f_ω или площадей F_ω обслуживания в рамках системы;

– видов осушаемых почв $G = \{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$, их долей f_g или площадей F_g распространения;

– видов выращиваемых сельскохозяйственных культур $Q = \{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$, их долей f_k или площадей F_k в структуре проектных (плановых) севооборотов и величин их расчетных средних (проектных или плановых) урожаев \bar{Y}_k , $k = \overline{1, n_k}$ на осушаемых землях;

– возможных (при существующих почвенных, рельефных, гидрологических, гидрогеологических и хозяйственных условиях) способов водорегулирования осушаемых земель $S = \{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$;

– расчетных (типовых) по условиям тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации $P = \{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ и их долей α_p , $p = \overline{1, n_p}$ в пределах проектного срока функционирования системы или использования осушаемых земель;

– удельных стоимостных показателей (закупочные цены на выращиваемую продукцию, сельскохозяйственные и мелиоративные затраты и т. п.) для определения ТЭП, входящих в состав экономико-математических моделей.

Таким образом, определение необходимых значений составляющих общих моделей оптимизации возможно только на базе решения сложного и разветвленного, многопараметрического и многофункционального задания путем применения методов математического моделирования с использованием ЭВМ и основывается на создании комплекса иерархически связанных имитационных субмоделей по прогнозированию на долгосрочной основе водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, их влияния на урожай выращиваемых культур и создаваемый экологический эффект.

Согласно В. В. Шабанову [72] реализация методов прогнозно-оптимизационных расчетов при проектировании и эксплуатации МС в общем случае осуществляется системами комплексного регулирования (СКР), которые, в свою очередь, опираются на систему групп математических моделей, которые классифицируются следующим образом.

К группе I относятся модели требований растений к условиям внешней среды по ряду макрофакторов (солнечная радиация, водный и тепловой режимы, минеральное и газовое питание и др.) и микрофакторов (микроэлементы и т. д.).

Группа II моделей относится к процессам формирования условий внешней среды. Здесь решается вопрос их формализации путем математического описания с целью дальнейшего использования этих моделей в прогнозных расчетах.

Группа III объединяет модели I и II групп и дает представление о взаимодействии климата и растений, оптимальные и неоптимальные условия их развития в данной природно-климатической зоне.

Группа IV моделей относится к заданию максимального диапазона регулирования внешних условий и оценивает экстремальную способность регулирующей ГМС при ее проектировании, реконструкции, планировании схем и режимов работы.

Группа V моделей имеет целью прогнозирование управляемых величин и расчет управляющего воздействия каждого фактора с учетом их взаимодействия.

Модели группы VI решают вопросы, связанные с технической реализацией управления водным, тепловым и питательным режимами на основании получения математических моделей движения воды, тепла и питательных веществ от исполняющего устройства к растениям.

Согласно представленной классификации комплекс субмоделей, необходимый для реализации прогнозно-оптимизационных расчетов по водорегулированию, определяется рассмотренной структурой общей модели мелиорируемого поля на осушаемых землях и ее составными элементами системы *почва – растение – приземный воздух* (см. пункт 17.7), основывается на имеющихся моделях I группы и может быть отнесен к моделям III–VI групп.

На основании изложенного для установленной и обоснованной минимально необходимой, иерархически связанной совокупности субмоделей в составе общей модели мелиорируемого поля нами разработана обобщенная структура реализации прогнозно-имитационных и оптимизационных расчетов по оценке эффективности водорегулирования осушаемых земель на долгосрочной основе при различных природно-мелиоративных условиях (рис. 17.5).

Характерной особенностью разработанной структуры прогнозно-оптимизационных расчетов является, во-первых, блочное построение их реализации. При этом можно выделить следующие относительно самостоятельные обобщающие блоки:

– блок формирования исходных данных по рассмотренным совокупностям основных влияющих природно-климатических, почвенно-мелиоративных, агротехнических, экономических и других факторов (блок 2, рис. 17.5);

– блок прогнозных расчетов на долгосрочной основе по совокупности соответствующих моделей: модель метеорологических условий местности (блок 5, рис. 17.5), модель развития культур (блок 8, рис. 17.5), модель водного режима осушаемых земель (блок 10, рис. 17.5), модель формирования урожая культур под воздействием изменчивых во времени природных (метеорологических) и мелиоративных (способов водорегулирования) факторов, по результатам которых определяются необходимые *стоимостные* технико-экономические показатели как составляющие экономико-математических моделей оптимизации и *физические* показатели экологической эффективности водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель на уровне каждого мелиорируемого поля (выращиваемой культуры) (блок 12, рис. 17.5);

– блок оптимизационных расчетов, предусматривающий определение, согласно принятой в соответствии с принципом системной оптимизации иерархической структурой их выполнения (одно- или n-уровневой), принятых критериев экономической и экологической эффективности ТТР рассмат-

риваемых в соответствии со сформулированной задачей по принятым условиям оптимизации как на уровне каждого мелиорируемого поля (выращиваемой культуры), так и по совокупности полей в рамках системы (блок 14, рис. 17.5, по каждому техническому элементу ГМС, характерным особенностям относительно рельефа, гидрогеологических условий и т. п. За ними реализуется общее условие оптимизации и окончательный выбор такого рационального решения, осуществляемого неформальным путем через экспертную оценку соответствующим специалистом на стадии проекта или плановой эксплуатации мелиоративной системы, которое учитывает, с одной стороны, экономическую эффективность, а с другой – экологическую приемлемость его реализации (блок 15, рис. 17.5);

– блок формирования и вывода каких-либо промежуточных (при необходимости) и окончательных результатов прогнозно-оптимизационных расчетов на любом этапе их выполнения (блок 16, рис. 17.5).

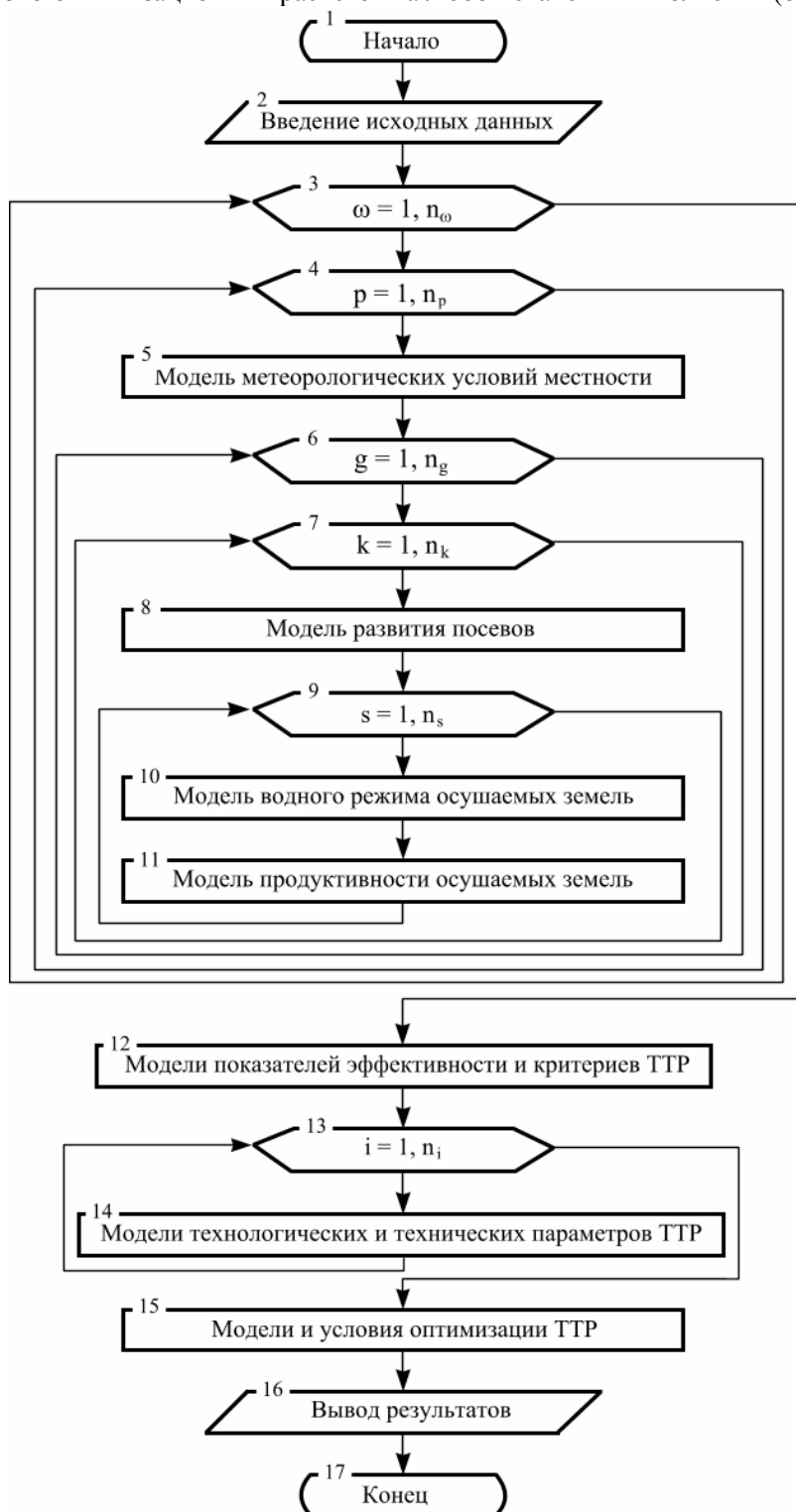


Рис. 17.5. Обобщенная блок-схема прогнозно-оптимизационных расчетов по обоснованию проектных решений на эколого-экономических принципах

Во-вторых, это необходимость соблюдения определенного порядка иерархически подчиненной последовательности выполнения прогнозно-оптимизационных расчетов по рассмотренным моделям и обобщающим блокам, когда результаты, полученные по соответствующим моделям на низших уровнях иерархии (обратный порядок расположения блоков моделей на рис. 17.5), являются исходными данными для выполнения дальнейших расчетов.

В-третьих, разработанной общей структуре прогнозно-оптимизационных расчетов присуща цикличность их выполнения в связи со сложным характером условий формирования водного режима осушаемых земель под влиянием многочисленных переменных факторов, которые схематично могут быть представлены в виде совокупностей: $\{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$; $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$; $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$; $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$; $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ и др. (блоки цикла 3, 4, 6, 7, 9; рис. 17.5), а также обусловленная ими многовариантность возможных инженерных решений совокупности $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ (блок цикла 13, рис. 17.5) в проектах строительства, реконструкции и плановой эксплуатации мелиоративных систем.

Безусловно, приведенная на рисунке 17.5 общая универсальная структура прогнозно-оптимизационных расчетов будет несколько изменяться в каждом конкретном случае ее применения в зависимости от уровня решаемой оптимизационной задачи, которая принята к рассмотрению согласно сформулированного задания, n -уровневой иерархической структуры их выполнения и конкретных природно-мелиоративных и других условий объекта управления.

Но при этом возникает необходимость в решении следующего комплекса задач, связанных с разработкой имитационных моделей для прогнозирования на долгосрочной основе климатических условий местности, водного режима, развития и формирования урожая выращиваемых культур, обоснования и определения показателей (критериев) оценки водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель в изменчивых во времени природно-мелиоративных условиях, пригодных для их использования на производстве.

17.10. Предпосылки использования прогнозно-оптимизационных расчетов и решение практических задач

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения, в том числе Полесья Украины, есть объективная необходимость в решении целого ряда комплексных прогнозно-оптимизационных задач как на долгосрочной, так и краткосрочной основе по обоснованию необходимости и эколого-экономической целесообразности гидромелиоративных мероприятий, на которых основана реализация современной концепции развития мелиорации в указанной зоне.

А именно:

1. Обоснование необходимости и эколого-экономической целесообразности гидромелиоративных мероприятий при разработке долгосрочных перспективных (стратегических) проектов (схем) развития и размещения производительных сил в регионах страны.

2. Обоснование рациональных решений на эколого-экономических принципах с учетом климатологической стратегии управления сложными природно-техническими эколого-экономическими системами в проектах нового строительства и реконструкции мелиоративных объектов:

– видов, структуры посевов и урожаев выращиваемых сельскохозяйственных культур в проектном севообороте;

– способов, схем и режимов водорегулирования осушаемых земель;

– типов, конструкций, параметров и мощностей гидромелиоративных систем и их составляющих элементов (каналов, гидротехнических сооружений, трубопроводов, насосных станций и т. п.).

3. Обоснование рациональных решений на эколого-экономических принципах на стадии технологической подготовки существующих систем к следующему сезону при неопределенных погодных условиях и имеющегося (оптимального) ресурсного обеспечения (средства, вода, электроэнергия и др.):

– видов, структуры посевов, урожаев и схем размещения выращиваемых культур плановой севооборота;

– способов, схем и режимов водорегулирования осушаемых земель;

– разработка системных планов водорегулирования, технических планов эксплуатации систем и т. п.

4. Создание систем мониторинга и управления природно-техногенными комплексами в зоне осушительных мелиораций на базе действующих гидромелиоративных систем и управлений по их эксплуатации (УОС) путем объединения прогнозной оценки природно-мелиоративных условий их функционирования как на долгосрочной (с использованием баз данных многолетних ретроспектив-

ных наблюдений), так и на краткосрочной (при оперативном управлении такими объектами в условиях текущего года) основе.

Решение этих и любых других аналогичных прогнозно-оптимизационных задач требует разработки соответствующих моделей и методов выполнения необходимых инженерных прогнозно-оптимизационных расчетов в соответствии с уровнем принятия решений во времени (см. пункт), а также уровня их сложности и условий реализации.

Необходимость разработки и внедрения прогнозно-оптимизационных режимных расчетов, методов и средств по их реализации обусловлены объективным развитием и потребностями сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях, развитием научно-технического прогресса в отрасли. Они являются предпосылкой для разработки элементов и систем автоматизированного проектирования (САПР), создания автоматизированных систем управления (АСУ) мелиоративными и водохозяйственными объектами при их эксплуатации в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения.

Однако при этом возможности постановки и решения таких задач, обусловленных их объективной необходимостью, а также современным уровнем развития научных идей и методологии их воплощения, не всегда согласуются между собой, прежде всего из-за отсутствия соответствующих оптимизационных и прогнозно-имитационных моделей, методического и информационного обеспечения по их реализации, которые бы удовлетворяли условиям производства.

К этому следует добавить, что, с другой стороны, не всегда на производстве сегодня имеют место необходимые предпосылки (кадры и уровень их профессиональной подготовки, материально-техническое обеспечение и т. п.), позволяющие применять и реализовывать на практике новые научные идеи и разработки. Тем не менее на протяжении 90-х годов прошлого века и по настоящее время на основе изложенных принципов, методов и моделей было разработано методическое, программное и необходимое информационное обеспечение по реализации комплекса оптимизационных и прогнозно-имитационных моделей по обоснованию конструктивных и технологических решений по водорегулированию осушаемых земель, доведенных до производственного уровня их использования в виде отраслевых нормативов [43, 44, 53, 66, 67, 70, 74 и др.].

На их основе было осуществлено решение целого ряда оптимизационных и прогнозных задач по водорегулированию осушаемых земель, в том числе в зоне Полесья Украины:

- 1) в проектах строительства и реконструкции осушительных систем:
 - обоснование выбора возможных способов регулирования водного режима и соответствующих им типов и конструкций ГМС на осушаемых землях [53, 62];
 - оптимизация параметров регулирующей сети [53, 61];
 - оптимизация расчетной обеспеченности и параметров магистральных каналов и регулируемых водоприемников [28, 53];
- 2) в проектах эксплуатации осушительно-увлажняющих систем:
 - комплексная автоматизация планового водорегулирования осушаемых земель [35, 53];
 - разработка системных планов водорегулирования на долгосрочной основе [35, 53, 63];
 - создание информационно-консультационных систем оперативного планирования водорегулирования [35, 53, 64];
 - реализация планового водорегулирования в производственных условиях [35, 60 и др.];
 - обоснование рациональных расходов воды для увлажнения осушаемых земель Украины [48, 53, 65];
 - обоснование экологически оптимальных режимов мелиорированных земель гумидной зоны Украины [29].

Отдельные разработки по решению аналогичных задач с соблюдением современных экономических и экологических требований рассмотрены также в настоящей монографии.

Данные научно-технические разработки прошли успешную апробацию и показали достаточную эффективность их использования в производственных условиях и учебном процессе при подготовке соответствующих специалистов в вузах.

Литература

1. Алексеевский В. Е., Наседкин И. Ю., Корсунская И. Б. Формирование мелиоративной обстановки на осушаемых землях, её оценка и контроль // Обеспечение экологической надежности мелиоративных объектов. – Киев: Урожай, 1987. – С. 33–43.
2. Алиев А. Г., Шабанов А. И., Гаврилов В. М. Системный подход к управлению мелиоративной обстановкой на орошаемых землях // Гидротехника и мелиорация. – 1985. – № 3. – С. 25–26.
3. Арент К. П., Гончаренко П. А. Экономическое обоснование расчетной обеспеченности оросительных норм // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 8. – С. 68–71.

4. Арент К. П., Стельмах Е. А. Экономическое обоснование расчетной величины оросительных норм // Мелиорация и водное хозяйство. Сер. 1 : Орошение и оросительные системы : обзорная информ. – Вып. 1. – М.: ЦБНТИ, 1985. – 53 с.
5. Афанасик Г. И., Армоник О. Р., Пятницкий В. Н. Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах // Управление водным режимом мелиорированных земель. – Минск: Ураджай, 1967. – С.9-15.
6. Беляев Л. С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. – Новосибирск: Наука, 1978. – 128 с.
7. Бисвас А. Системный подход к управлению водным хозяйством // Системный подход к управлению водными ресурсами : пер с англ. / под ред. А. Бисваса. – М.: Наука, 1985. – С.12–24.
8. Блауберг Н. В., Юдин Э. Г. Становление и сущность системного подхода. – М.: Наука, 1973. – 271 с.
9. Ван Гиг Дж. Прикладная общая теория систем : пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – 336 с. – Т. 2. – 736 с.
10. Вознюк С. Ефективність і екологічне обґрунтування осушувальних меліорацій // Водне господарство України: Спецвипуск. – 1977. – С. 31–33.
11. Вознюк С. Т. Західне Полісся: сучасний стан і подальший розвиток меліорації земель // Водне господарство України. – 1996. – № 4. – С.16–19.
12. Галямин Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 272 с.
13. Гидрогеологическое прогнозирование : пер. с англ. / под ред. М. Г. Андерсона и Т. П. Берта. – М.: Мир, 1988. – 731 с.
14. Горев Л. М. Основы моделирования в гидроэкологии. – Київ: Либідь, 1996. – 332 с.
15. Динер И. Я. Районирование множества векторов состояния природы и задача выбора решения // Исследование операций (методологические аспекты). – М.: Наука, 1971. – С. 72–91.
16. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 304 с.
17. Зайдельман Ф. Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 288 с.
18. Информационно-советующая система управления орошением / В. П. Остапчик, В. А. Костромин, А. М. Коваль [и др.] ; под. ред. В. П. Остапчика. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.
19. Карук Б. П. Системный подход к оценке воздействия на окружающую среду объектов осушительной мелиорации в Украине // Теория и практика эколого-мелиоративного мониторинга в Украинском Полесье : сб. докл. – Киев, 1992. – С. 22–32.
20. Коваленко П. И. Экологические проблемы при орошении и осушении (к Международной конференции 16–18 сентября 1993 г.). – Киев, 1993. – 8 с.
21. Коваленко П. І., Жовтоног О. І. Сучасні проблеми іригації, дренажу та управління водними ресурсами // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 1. – С. 50–55.
22. Костяков А. Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.
23. Лазарчук Н. А. Оптимизация расчета осушительных систем и управления ими : дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02 / БелНИИМиВХ. – Минск, 1992. – 277 с.
24. Лихацевич А. П. Обоснование расчетной модели режима орошения многолетних трав и овощных культур в условиях Беларуси : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02 / БелНИИМиЛ. – Минск, 1993. – 48 с.
25. Лэсдон Л. С. Оптимизация больших систем : пер. с англ. – М.: Наука, 1975. – 432 с.
26. Мелиорация и водное хозяйство. 3. Осушение: Справочник / под ред. Б. С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
27. Методика планування оптимальних екологічно безпечних режимів зрошення / М. І. Ромащенко, О. І. Жовтоног, Л. А. Філіпенко [та ін.]. – К.: ІГіМ УААН, 1997. – 43 с.
28. Методические указания по экономико-математическому обоснованию выбора оптимальной расчетной обеспеченности и сечений магистральных каналов осушительных систем / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, С. М. Гончаров [та ін.]. – Ровно, 1988. – 20 с.
29. Методичні рекомендації щодо екологічно оптимальних режимів меліорованих ґрунтів гумідної зони України / С. Т. Вознюк, А. М. Рокочинський, В. С. Мошинський [та ін.]. – Рівне, 2005. – 50 с.
30. Методы системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве / под ред. Б. Г. Штепы. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 262 с.
31. Минаев И. В. Принципы проектирования осушительных и осушительно-увлажнительных систем с оптимальными параметрами // Водное хозяйство Белоруссии. – 1977. – Вып. 1. – С. 3–18.
32. Минаев И. В. Экологическое усовершенствование мелиоративных систем. – Минск: Ураджай, 1986. – 151 с.
33. Мирцхулава Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974. – 278 с.
34. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальности систем. – М.: Наука, 1975. – 528 с.
35. Науково-методичні та організаційні засади управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним прогнозом : методичні рекомендації / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, Я. Я. Зубик [та ін.]. – Рівне, 2005. – 53 с.

36. Нерпин С. В., Чудновский А. Ф. Энерго и массообмен в системе растение – воздух – почва. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 358 с.
37. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации) / сост. И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М.: Агрометеоздат, 1990. – 60 с.
38. Оценка и контроль изменений в природных комплексах под влиянием осушения / В. Е. Алексеевский, О. В. Скрипник, Г. П. Рябцева [и др.]. – Киев, 1992. – 189 с.
39. Перегуда Л. В., Каркуций Г. Н., Андриенко Т. Л. Экологические аспекты осушительных мелиораций Украинского Полесья. – Киев: Наук. думка, 1988. – 192 с.
40. Платонов В. А., Чудновский А. Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 280 с.
41. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 175 с.
42. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 312 с.
43. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А. М. Рокочинський, О. І. Галік, В. А. Сташук [та ін.]. – Рівне, 2008. – 64 с.
44. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, С. В. Шалай, В. А. Сташук [та ін.]. – Рівне, 2006. – 50 с.
45. Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах // Управление водным режимом мелиорированных земель / Г. И. Афанасик, О. Р. Армоник, В. Н. Пятницкий [и др.]. – Минск: Ураджай, 1987. – С. 9–15.
46. Пряжинская В. Г., Шабанов В. В. Стохастические модели управления водным режимом растений // Применение системного анализа в ирригации и дренаже. – М., 1976. – С. 5–22.
47. Ранькова Э. Я. Вариант байесовского метода прогноза и его реализация // Труды САНИГМИ. – Л., 1967. – Вып. 29–44. – С. 60–67.
48. Рациональні витрати води для зволоження осушуваних земель України : тимчасові рекомендації / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. М. Бежук [та ін.]. – Рівне, 1996. – 36 с.
49. Рекс Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. – М.: Аслан, 1995. – 192 с.
50. Рекс Л. М., Шитова И. А. Оптимизационная модель мелиоративной системы в гумидной зоне // Предупреждение и ликвидация заболачивания и засоления орошаемых земель. – М., 1984. – С. 40–53.
51. Рокочинский А. Н. Методы оценки, прогноза и оптимизации управления водным режимом осушаемых земель // Экологические проблемы при водных мелиорациях. – Киев, 1996. – С. 67–76.
52. Рокочинский А. М. Загальна модель меліорованого поля на осушуваних землях // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – 1997. – Вип. 21. – С. 39–43.
53. Рокочинський А. М. Оптимізація водорегулювання осушуваних земель // Водне господарство України. – 1997. – № 2. – С. 4–5.
54. Рокочинський А. М. Принципи обґрунтування розрахункової забезпеченості при проектуванні осушувальних систем // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Рівне, 1999. – Вип. 2. – Ч. 3. – С. 173–177.
55. Рокочинський А. М. Принципи реалізації кліматологічно оптимальної стратегії управління меліоративними об'єктами на осушуваних землях // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Зб. наук. праць. – Рівне, 2000. – Вип. 25. – С. 42–49.
56. Рокочинський А. М. Теоретичні та практичні аспекти оптимізації проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Рівне, 2001. – Вип. 1 (8). – С. 40–50.
57. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромашенка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
58. Руководство по проектированию осушительно-увлажнительных систем с безуклонными и малоуклонными дренами: ВТР П-15-78 / под ред. О. В. Скрипника. – М.: Минводхоз СССР, 1978. – 21 с.
59. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення / за ред. П. І. Коваленка. – Киев: Аграрна наука, 2001. – 215 с.
60. Технические указания по эксплуатационной гидрометрии на осушительных системах : НТД 33-04-02-91 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков [и др.]. – Киев: Укрگیпроводхоз, 1991. – 74 с.
61. Технические указания по оптимизации параметров горизонтального дренажа на основании экономико-математического расчета при проектировании осушительных систем в Украинской ССР : НТД 33-63-090-89 / Н. А. Лазарчук, В. Г. Муранов [и др.]. – К.: Укрگیпроводхоз, 1989. – 26 с.
62. Технические указания по проектированию на ЭВМ расчетных режимов увлажнения сельскохозяйственных культур на системах двустороннего действия Украинской ССР : НТД 33.63-089-89 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков [и др.]. – Ровно, 1990. – 53 с.
63. Технические указания по разработке с помощью ЭВМ системных планов водопользования для осушительно-увлажнительных систем Украины: НТД 33-04-01-91 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, В. М. Гус [и др.]. – Киев.: Укрگیпроводхоз, 1991. – 40 с.

64. Технические указания по созданию информационно-советующих систем управления осушительно-увлажнительными системами : НТД 33-04-03-92 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков [и др.]. – Киев: Укрпипроводхоз, 1992. – 66 с.
65. Технічні вказівки з встановлення економічно обґрунтованих лімітів водоспоживання на осушуваних землях: НТД 33-04-02-93 / М. О. Лазарчук, А. М. Рокочинський, В. М. Бежук [и др.]. – К.: Укрдіпровдгосп, 1992. – 31 с.
66. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2010. – 52 с.
67. Тимчасові рекомендації з прогнозування оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, [та ін.]. – Рівне, 2011. – 54 с.
68. Трегобчук В. М. Экономико-экологические проблемы гидромелиорации. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
69. Уатт К. Экология и управление природными ресурсами. Количественный подход : пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 463 с.
70. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. – Рівне: НУВГП, 2007. – 257 с.
71. Хвесик М. А. Эколого-экономические проблемы водопользования в полесском регионе Украины // Экологические проблемы при водных мелиорациях: докл. науч.-практ. конф. стран СНГ. – Киев, 1996. – С. 8–18.
72. Шабанов В. В. Биоклиматическое обоснование мелиораций. – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 182 с.
73. Шавва К. И. Определение оптимальных параметров водохозяйственных объектов и рациональных схем использования водных ресурсов. – Фрунзе: Киргизстан, 1972. – 252 с.
74. Шалай С. В., Рокочинський А. М. Оцінка продуктивності осушуваних земель за довготерміновим прогнозом : монографія. – Рівне: НУВГП, 2011. – 149 с.
75. Шебеко В. Ф. Водохозяйственные расчёты при мелиорации переувлажненных земель. – Минск, 2000. – 320 с.
76. Шумаков Б. Б. Мелиорация в XXI веке // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 3. – С. 4–6.
77. Янголь А. М. Степень осушения торфяных почв и ее расчетные элементы // Тр. УкрНИИГиМ. – 1990. – Вып. 70. – С. 18–26.
78. Яцык А. В. Экологические основы рационального водопользования (на примере рек Украины) : автореф. дис... д-ра техн. Наук : 11.00.11 / ЦНИИКИВР. – Минск, 1997. – 64 с.
79. Epstein E. S. A Bayesian approach to decision making in applied meteorology // J. Appl. Met. – 1962. – V.1. – № 1. – P. 76–84.

Глава 18. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЕКТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

18.1. Климат как определяющий фактор создания и функционирования сложных природно-технических систем

Климат – характерный для данной территории многолетний режим погоды, обусловленный солнечной радиацией, ее преобразованием в деятельном слое земной поверхности и связанной с ней циркуляцией атмосферы и океанов. Солнечная радиация, циркуляция атмосферы и океана имеют глобальный масштаб воздействия на климат [6, 7 и др.].

Климатообразующие факторы в течение года проявляются неоднозначно и существенно различаются по сезонам. В холодный период преобладающую роль играет циркуляция атмосферы, в теплый – возрастает роль радиационного фактора. Климат не только определяют по средним значениям метеорологических показателей, но и учитывают их годовой, суточный ход, предельные значения, средние отклонения от усредненных величин, повторяемость определенных явлений, средние и предельные сроки начала явлений и т. д.

Сегодня трудно назвать область хозяйственной или социальной деятельности человека, которая была бы полностью независима от влияния погодно-климатических факторов. Земледелие, энергетика, транспорт, строительство, торговля, условия проживания населения и т. д. – все эти разнородные области экономики, являясь объектами воздействия атмосферных процессов, существенно зависят от сложившихся метеорологических условий и должны своевременно обеспечиваться информацией об их прогнозных изменениях [3, 24]. Климат – это природный ресурс.

В связи с интенсификацией производства, привлечением в него больших масс человеческих и материальных ресурсов, использованием более тонких технологических процессов влияние метеорологических факторов на деятельность человека возрастает. Несмотря на общий тренд роста объемов технологических производств, наблюдаются их ежегодные колебания из-за действия неуправляемых погодно-климатических условий. При этом, как показывают исследования, эти колебания возрастают, особенно в последние годы, из-за участвовавших аномальных природных явлений [3, 24].

Ученые достигли глобального консенсуса в том, что на протяжении последних 150 лет климат изменился преимущественно благодаря жизнедеятельности человека. Глобальная температура растет, характер осадков становится все более непредсказуемым, а уровень моря повышается. Ожидается, что эти тенденции будут проявляться на протяжении ближайших десятилетий. Для глобального потепления также характерно более частое и интенсивное проявление стихийных бедствий, связанных с климатом, а также экстремальных погодных условий. Научные исследования свидетельствуют о том, что количество связанных с климатом стихийных бедствий за последние сто лет существенно возросло и сегодня их влияние ежегодно ощущают на себе более 250 миллионов человек.

Гуманитарные и экологические последствия изменений климата и характера экстремальных погодных условий, вероятно, будут значительными. В мире все большее количество людей выражают обеспокоенность из-за потенциальных негативных последствий изменения климата для общества и экономики, которые могут нанести вред различным секторам – от сельского хозяйства до водных ресурсов.

Различные области экономики характеризуются неодинаковой «зависимостью» по отношению к погодным условиям и разными возможностями «акклиматизации». Наиболее подверженными влиянию метеорологических факторов являются сельское хозяйство, строительство, транспорт, энергетика.

Производство сельскохозяйственной продукции, в том числе на мелиорированных землях, осуществляется в особо специфических условиях, характерных только для данной отрасли [17]. Так, сельскохозяйственные работы носят сезонный характер, выполняются в основном на открытом воздухе и обусловлены климатической зоной. При этом особое внимание уделяется нормам и технологиям посевов, посадке сельскохозяйственных культур, видам и агротехнике подкормок, защите сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков. Сезонная особенность сельскохозяйственных работ заключается в избирательности агрометеорологических условий возделывания сельскохозяйственных культур.

Переход от сложившейся практики рассмотрения мелиоративных объектов не исключительно как технических, а как сложных природно-технических систем, с соответствующим изменением всей методологии, технической и технологической стратегии их создания и функционирования, требует непосредственного учета изменчивых во времени и неопределенных по своему характеру природно-

климатических условий, поскольку именно они вместе с мелиоративными факторами оказывают определяющее влияние на общий природно-мелиоративный режим осушаемых земель и соответствующий эколого-экономический эффект.

18.2. Обоснование необходимости метеорологического обеспечения при разработке водохозяйственно-мелиоративных проектов

Принятие решений при создании и функционировании водохозяйственно-мелиоративных объектов относительно временных уровней (1 – долгосрочные перспективные разработки на стадии схемы и стадии проекта, 2 – стадия технологической подготовки системы к следующему сезону, 3 – стадия оперативного управления системой) тесно связано с необходимостью формирования прогнозов природно-мелиоративных режимов различной заблаговременности. При этом климатические или погодные условия как составляющие общего природно-мелиоративного режима являются определяющими [17, 10 и др.].

Известно, что прогноз погоды на любой длительный период невозможен. Вместе с тем процессы, происходящие на мелиорированных полях, характеризуются достаточной инертностью. Влагозапасы в почве не могут изменяться мгновенно, и растения довольно медленно реагируют на флуктуацию метеофакторов, если они не выходят за определенные расчетные границы. Поэтому именно свойство инерционности почв и посевов, а также периодическая повторяемость погодных условий позволяют производить те или иные прогнозы, несмотря на довольно сильную изменчивость последних во времени.

Таким образом, обоснование оптимальных проектных решений на эколого-экономической основе требует создания единого комплекса иерархически связанных моделей параметров эффекта, режима, технологий и конструкций, а потому прогнозные режимные расчеты по соответствующим моделям являются обязательной и неотъемлемой составляющей в структуре общих инженерно-мелиоративных расчетов на всех уровнях принятия решений во времени при реализации гидромелиоративных мероприятий [17, 10 и др.].

Поскольку разработка методов и моделей по прогнозной оценке и оптимизации природно-мелиоративных режимов осушаемых земель для всех трех уровней принятия решений во времени – задача чрезвычайно сложная, поэтому главным ее содержанием является освещение возможных подходов и методов по разработке и реализации соответствующих прикладных моделей метеорологического обеспечения выполнения прогнозных режимных расчетов на долгосрочной основе при водорегулировании осушаемых земель для стадий проекта и плановой эксплуатации водохозяйственно-мелиоративных объектов.

В практике разработки мелиоративных проектов и проектов других природно-техногенных систем, выполнении экологической экспертизы, гидрологических и агрометеорологических прогнозов с различным уровнем их заблаговременности возникает необходимость использования соответствующей метеорологической информации с целью выбора климатологически оптимальных стратегий управления такими объектами в многолетнем и внутривегетационном разрезе [5 и др.].

Эта проблема приобретает особую актуальность в современных условиях, когда происходят кардинальные изменения климата на Земле в планетарном масштабе, связанные с развитием процессов глобального потепления и дифференцированно проявляется на региональном уровне.

Поскольку решающее влияние на формирование водного режима и урожай выращиваемых культур во многих случаях определяют именно погодные условия, необходимо располагать данными об их реализации для соответствующего объекта за ряд предыдущих лет ретроспективных наблюдений. Количество таких реализаций и выбор конкретных лет зависят от многолетней межсезонной вариабельности метеорологических факторов и, несомненно, должны охватывать все типичные для данного региона их проявления.

18.3. Научно-методические подходы к прогнозированию типовых метеорологических режимов на долгосрочной основе

Исходя из имеющихся видов и структуры прогноза относительно уровней принятия проектных, управленческих, экспертных и других решений во времени, для выполнения режимных прогнозно-оптимизационных расчетов на долгосрочной основе в проектах строительства, реконструкции и плановой эксплуатации водохозяйственных, мелиоративных, сельскохозяйственных объектов и т. п., необходимо обратиться к разработке соответствующего прогноза климатических или погодных условий, традиционно относящегося к так называемому климатологическому прогнозу [17, 10 и др.].

Климатологические прогнозы – это прогнозы, в которых в качестве прогнозируемой величины используются средние многолетние значения (нормы) метеорологических величин или их нормированное распределение за расчетный период времени (многолетний, годовой, вегетационный период и др.) [7, 8 и др.].

Модель прогнозной оценки метеорологических режимов является первым звеном в цепи реализации любых режимных прогнозно-имитационных расчетов на долгосрочной основе, от точности которой напрямую зависят результаты всех последующих вычислений до окончательного принятия проектных или экспертных решений.

Достаточный уровень надежности результатов экологических, гидрологических, инженерно-мелиоративных расчетов и агрометеорологических прогнозов на долгосрочной основе можно обеспечить путем введения в эти расчеты метеорологической информации, в максимальной степени отражающей типичные природно-климатические условия рассматриваемого объекта.

Метеорологические элементы, такие как осадки, температура, дефицит и относительная влажность воздуха, изменяются по неопределенному (стохастическому) характеру как в многолетнем разрезе, так и в течение периодов вегетации, поэтому целесообразно получать их обобщенную комплексную характеристику по расчетным относительно условий тепло- и влагообеспеченности годам [25–29].

Вследствие очень сложного характера реализации природно-климатических и метеорологических процессов до сих пор не существует универсальной методики метеорологического обеспечения прогнозных режимных расчетов при проектировании и эксплуатации природно-техногенных объектов. Практически ни один из апробированных на практике методов не позволяет получить развернутую обобщенную характеристику метеорологических режимов при реализации климатологического прогноза в виде схематизированного типового распределения основных метеофакторов (осадков, температуры, дефицита или относительной влажности воздуха) по всему необходимому спектру расчетных (характерных по условиям тепло- и влагообеспеченности) вегетационных периодов с учетом сложного и неоднозначного характера условий их формирования в многолетнем и внутривегетационном разрезе.

При статистических исследованиях метеорологического режима обычно считается, что подмеченная хронологическая последовательность является реализацией случайного (стохастического) процесса, который отражает характерные изменения во времени одного или нескольких метеорологических элементов. Сущность климатической обработки при этом состоит в том, чтобы на основании анализа этих колебаний получить основные вероятностные закономерности для процесса в целом.

Имея дело со сложным стохастическим процессом, каким является метеорологический режим, сложно надеяться получить универсальную по всем возможным условиям применения удовлетворительную детерминированную модель. Но, учитывая уровень решаемых задач, можно утверждать, что цель метеорологических прогнозов заключается в получении типовых (характерных для данной местности условий по тепло- и влагообеспеченности) схем метеорологических режимов в виде распределения совокупности основных метеофакторов в многолетнем и внутривегетационном разрезе.

При этом вид и уровень сложности моделей, их методическое и информационное обеспечение должны удовлетворять главному требованию – быть достаточно эффективными и относительно простыми, а также пригодными для практического применения в прогнозных режимных расчетах. Такие модели уже апробированы, преимущественно в гидрологической практике, и основываются на предположении того, что для оценки стохастического процесса в многолетнем разрезе используют их соответствие тому или иному теоретическому закону распределения, а нормированное распределение необходимых параметров внутри расчетного года или периода вегетации может быть определено с помощью уравнений регрессии.

Полученные статистические закономерности для процесса в целом будут выражены в дискретном виде через усредненные нормированные величины, значения которых в момент времени t определяются только текущим состоянием системы и не зависят от предыстории процесса, с помощью моделей детерминированного типа. Такой подход в целом не совсем соответствует требуемой общей структуре построения моделей метеорологических режимов, но, учитывая сложность исследуемого явления и уровня рассматриваемых прогнозно-оптимизационных задач, вполне допустим.

Очень важным вопросом при построении и реализации дискретных по времени динамических моделей, принятых в основе моделирования режимных процессов, является выбор такого шага их дискретизации, который бы в достаточной мере отвечал требованиям необходимости и целесообразности его использования.

Кроме того, принятый для модели метеорологических режимов шаг дискретизации должен быть обязательно согласован с другими моделями, реализация которых зависит и основывается на использовании полученных по ней данных, таких как модель водного режима мелиорированных земель, модель развития и формирования урожая выращиваемых сельскохозяйственных культур и т. п. [17 и др.].

В современной практике при выполнении прогнозных режимных расчетов на долгосрочной основе наиболее распространенным является использование таких расчетных периодов времени: на стадии проектирования объекта – декада, месяц, период вегетации; на стадии его плановой эксплуатации – пентада, неделя, декада, месяц, период вегетации.

Оценка изменения природно-мелиоративных условий в декадном разрезе является вполне достаточной для общей характеристики водного режима территорий в пределах периода вегетации с учетом изменчивости метеорологических элементов в течение данного периода.

Принятие декадного шага дискретизации моделей позволит использовать имеющиеся стандартные данные фондовых материалов ретроспективных многолетних наблюдений метеорологических станций и постов базовой сети Госкомгидромета Украины.

При разработке моделей, описывающих типовое распределение метеофакторов во внутривегетационном разрезе, целесообразно предусмотреть возможность изменения шага их дискретизации (например, от декадного к пентадному или недельному), если это необходимо пользователю.

Признано целесообразным при реализации моделей метеорологических режимов в многолетнем разрезе за общий расчетный период времени рассматривать период вегетации (апрель – октябрь), а типовое распределение метеофакторов внутри расчетного периода вегетации – в декадном разрезе.

По структуре построения такая модель может быть рассмотрена условно как бы в двух плоскостях:

– в вертикальной плоскости необходимо определить вегетационные значения (средние или суммарные) величины основных метеофакторов (осадков, температуры, дефицита или относительной влажности воздуха) для определенной по принятой схеме совокупности типовых (характерных) для расчетных относительно условий тепло- и влагообеспеченности вегетационных периодов;

– в горизонтальной плоскости необходимо получить типовое распределение соответствующих вегетационных значений величин метеофакторов за расчетные промежутки времени (пентада, неделя, декада, месяц) внутри каждого расчетного относительно условий тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода.

Поскольку климатические (метеорологические) условия характеризуются не какой-то определенной метеорологической величиной, а их совокупностью, то согласно принятой практике при выполнении режимных мелиоративных, экологических и агрометеорологических прогнозов традиционно используются осадки, температура, дефицит и относительная влажность воздуха, по которым в дальнейшем могут быть определены величина суммарного испарения, сумма активных температур, фотосинтетическая активная радиация (ФАР) и др.

При реализации моделей метеорологического режима путем разработки климатологического прогноза на долгосрочной основе пользователь может столкнуться с такими тремя типичными случаями:

1) наличие необходимых данных достаточно длительных многолетних ретроспективных наблюдений ($n_j \geq 35$ лет);

2) наличие только ограниченной (короткой) последовательности наблюдений ($15 < n_j < 35$ лет);

3) отсутствие данных многолетних наблюдений ($0 \leq n_j \leq 15$ лет).

Поэтому, в зависимости от наличия у потребителя полного или ограниченного количества необходимой информации по рассматриваемому объекту (или их отсутствию) возникает необходимость разработки различных видов моделей метеорологических режимов на долгосрочной основе с различным уровнем точности результата такого прогноза (рис. 18.1).

Базовой, то есть принятой за основу для разработки других видов моделей, является модель № 1, основанная на использовании данных многолетних наблюдений по реальному объекту.

Для ограниченного ряда наблюдений может быть использована модель № 2 переходного типа, которая может основываться на удлинении имеющегося короткого ряда с помощью объекта-аналога с последующим использованием методических подходов и результатов базовой модели.

При отсутствии данных многолетних наблюдений могут быть рассмотрены несколько вариантов модели. Одна из них представляет оптимальный вариант решения вопроса (модель № 3) если есть возможность реализовать базовую модель для обработки многолетних наблюдений всей совокупности метеостанций и постов (около 70) базовой сети службы Госкомгидромета, расположенных в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения Украины.

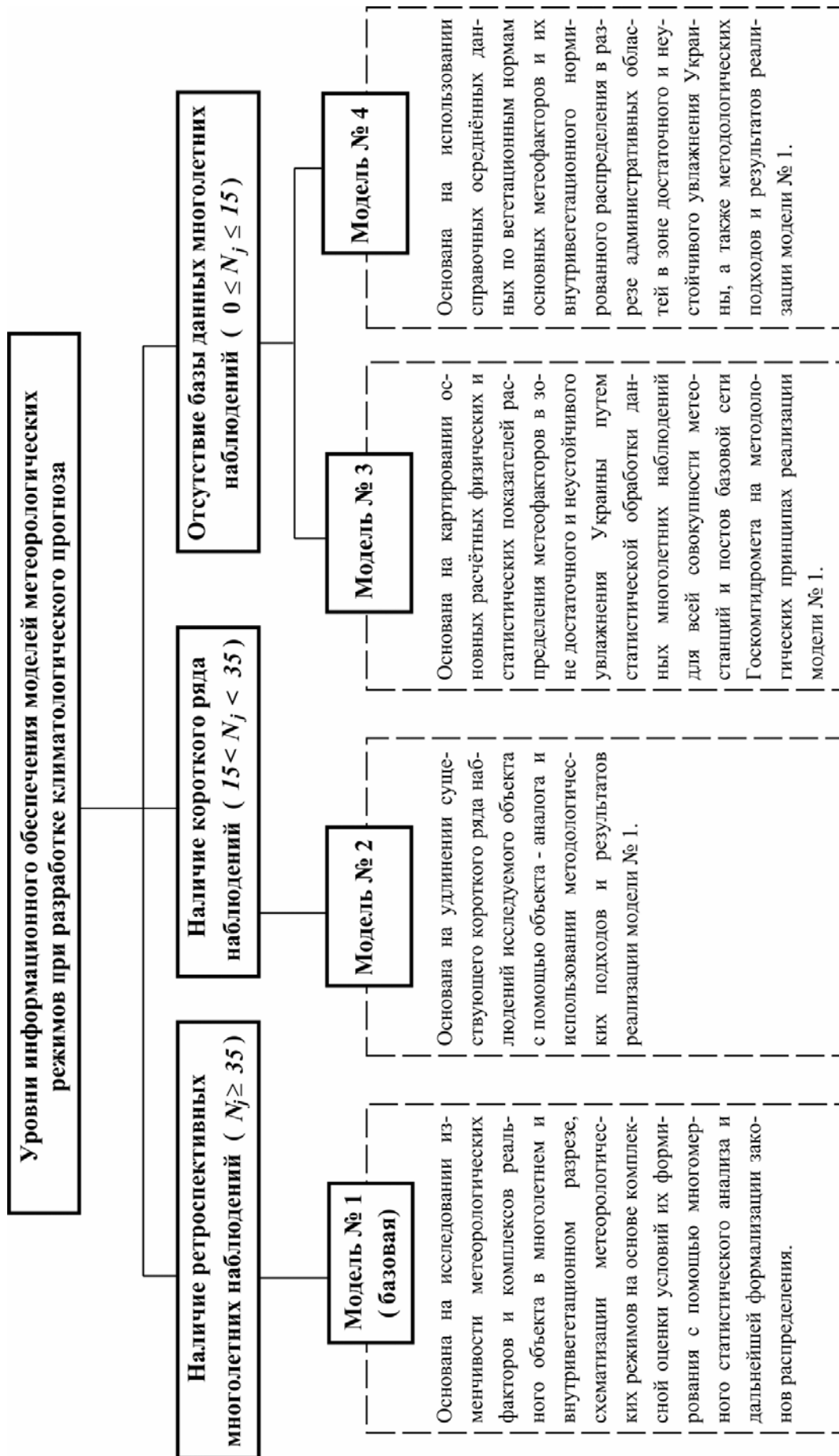


Рис. 18.1. Структура моделей метеорологических режимов при разработке климатологического прогноза по различным уровням их информационного обеспечения

На основании этого можно осуществить картирование необходимых показателей определенных закономерностей типичного распределения метеофакторов в расчетные периоды вегетации на зональном уровне. В противном случае может быть применена модель № 4, которая дает приближенное решение задачи за счет использования имеющихся справочных данных средних многолетних вегетационных норм основных метеофакторов и их внутривегетационного распределения за расчетные промежутки времени в пределах административных областей Украины на методических принципах и результатах реализации базовой модели.

Из рассмотренной совокупности необходимых видов моделей прогнозирования метеорологических режимов на долгосрочной основе здесь рассмотрены модели № 1 и 4 как наиболее востребованные производством. Любая модель исследуемого процесса имеет то или иное количество неизвестных, от выбора которых зависит качество работы модели, то есть такая ее точность, в которой расчетные фазовые траектории совпадают с измеренными в комплексном полевом эксперименте.

Отсюда возникает необходимость оценки имитационной способности моделей, определение уровня соответствия результатов, полученных по разработанным моделям, реальным данным. При этом точность оценки прогнозных метеорологических характеристик целесообразно определять с помощью обоснованных статистических критериев.

Чаще всего при исследовании процессов в природно-техногенных системах имеет место случай, когда параметры модели известны с некоторой долей неопределенности, то есть их величины находятся внутри некоторого интервала. Поскольку любая точка интервала может равновероятно претендовать на истинное значение параметра модели, возникает вопрос о методах нахождения оценок параметров модели, которые минимизируют неувязку между измеренными и вычисленными фазовыми траекториями изучаемых процессов.

Степень близости моделей метеорологических режимов, а также связанных с ними моделей водного режима почвы и производственных процессов, а точнее – некоторому классу процессов, которые зафиксированы в различных условиях их обнаружения, может быть оценена различными способами в зависимости от априорной информации об их статистических свойствах.

Самым простым способом оценки эмпирических моделей является определение уровня сходимости между расчетными (c_0) и наблюдаемыми эмпирическими (фактическим) данными с помощью таких показателей, как относительная погрешность, сумма квадратов отклонений, коэффициент корреляции, дисперсия и др., которые определяются по общим стандартным методикам.

18.4. Прогноз типовых метеорологических режимов на долгосрочной основе при наличии многолетних данных

В случае наличия данных многолетних наблюдений разработана и предлагается возможная реализация модели, позволяющая выполнить анализ и оценку изменчивости основных метеофакторов на основании обобщения результатов прошлых ретроспективных наблюдений за 35–50 лет на метеостанциях и постах базовой сети Госкомгидромета Украины, расположенных недалеко (до 50 км) от исследуемого объекта [10, 17 и др.]. Эта модель позволяет схематизировать метеорологические режимы и получить типичное распределение метеофакторов за расчетные промежутки времени (пентада, неделя, декада, месяц) внутри расчетных по условиям тепло- и влагообеспеченности периодам вегетации.

Расчетные по влагообеспеченности периоды вегетации и соответствующее распределение метеорологических элементов определяются путем применения многомерного статистического анализа многолетних рядов наблюдений по всем основным метеофакторами и построенными на их основе комплексами с применением комплексной оценки метеорологических условий в пределах общего расчетного периода. Укрупненная блок-схема реализации указанной модели представлена на рисунке 18.2.

Алгоритм выполнения расчетов на ЭВМ по такой модели и пояснения к ним выглядят следующим образом.

1. Ввод исходных данных в ЭВМ (рис.18.2, блок 2). При наличии данных многолетних наблюдений за основными метеофакторами имеются массивы исходных данных, которые могут быть представлены в векторно-матричном виде как:

$$\vec{x}_{fj\tau} = (P_{j\tau}, \bar{T}_{j\tau}, \bar{D}_{j\tau}, \bar{H}_{j\tau}), \quad f = \overline{1, n_f}, \quad j = \overline{1, n_j}, \quad \tau = \overline{1, n_\tau} \quad (18.1)$$

где $\vec{x}_{fj\tau}$ – векторы состояния (массивы данных ретроспективных срочных наблюдений) основных метеофакторов совокупности $\{f\}$, $f = \overline{1, n_f}$ ($n_f = 4$): сумм осадков $P_{j\tau}$ (мм) и средних значений температуры $\bar{T}_{j\tau}$ (°C), дефицита $\bar{D}_{j\tau}$ (мм) и относительной влажности воздуха $\bar{H}_{j\tau}$ (%) – по расчетным

интервалам времени (сутки, пентада, декада) совокупности $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ внутри периода вегетации j -х лет наблюдений совокупности $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$.

2. При отсутствии данных по дефициту $\overline{D}_{j\tau}$ или относительной влажности воздуха $\overline{H}_{j\tau}$ вычисляются необходимые их значения (рис. 18.2, блок 3).

Путем обработки на ЭВМ ряда многолетних данных метеостанций зоны достаточного и неустойчивого увлажнения Украины и среднемноголетних данных, представленных в справочной литературе [12 и др.], а также используя за основу общеизвестное уравнение Магнуса, нами были получены зависимости, позволяющие определить величину дефицита или относительной влажности воздуха при наличии одного из этих метеофакторов и температуры воздуха за любой расчетный интервал времени τ усреднения указанных элементов, больше, чем сутки (пентада, неделя, декада, месяц, период вегетации) [10, 17 и др.]. Соответственно:

$$\overline{D}_\tau = 6,3 \left(1 - \frac{\overline{H}_\tau}{100}\right)^{1,11} \exp\left(\frac{17,1 a_f \overline{T}_\tau}{235 + \overline{T}_\tau}\right), \text{ мм}; \quad (18.2)$$

$$\overline{H}_\tau = 100 - 19,1 \left[\overline{D}_\tau / \exp\left(\frac{17,1 a_f \overline{T}_\tau}{235 + \overline{T}_\tau}\right)\right]^{0,9}, \text{ \%}, \quad (18.3)$$

где \overline{D}_τ , \overline{H}_τ , \overline{T}_τ – средние значения соответственно дефицита (мм), относительной влажности (%) и температуры ($^{\circ}\text{C}$) воздуха за расчетное время τ ;

a_f – эмпирический коэффициент, имеющий выраженный зональный характер и для зоны достаточного и неустойчивого увлажнения Украины изменяющийся в пределах от 0,90 до 1,10.

При выполнении расчетов в первом приближении принимается $a_f = 1,0$ и, при необходимости, оно может быть уточнено по фактическим данным путем параметризации модели.

3. По исходным данным (18.1) вычисляются необходимые вегетационные значения по метеофакторам и построенным на их основе метеорологическим комплексам (рис. 18.2, блок 4).

Для этого используются вычисленные по исходным данным срочных наблюдений за расчетные промежутки времени $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ (суточные, пентадные или декадные) вегетационные значения метеофакторов совокупности $\{f\}$, $f = \overline{1, n_f}$ ($n_f = 4$): сумм для осадков $P_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} P_{j\tau}$ и средних значений

температуры $\overline{T}_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} T_{j\tau} / n_\tau$, дефицита $\overline{D}_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} D_{j\tau} / n_\tau$ и относительной влажности воздуха

$\overline{H}_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} H_{j\tau} / n_\tau$, а также построенных на их основе метеорологических комплексов.

В качестве метеорологических комплексов рассмотрены следующие показатели, по структуре построения аналогичные мелиоративным и агроклиматическим показателям, которые традиционно используются для оценки условий тепло- и влагообеспеченности территорий (коэффициент водного баланса А. Н. Костякова [7], гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова [23] и т. п.):

– **индекс засушливости** EP_j , который связывает осадки и в виде отношения суммарной за период вегетации испаряемости E_j^0 (мм), определяемой по общеизвестной формуле Н. Н. Иванова [6] в зависимости от значений температуры \overline{T}_j ($^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности воздуха \overline{H}_j (%), к сумме осадков за соответствующий период P_j (мм)

$$EP_j = E_j^0 / P_j; \quad (18.4)$$

– **гидротермический коэффициент поступления** PT_j , который связывает суммарные осадки P_j (мм) и температуру \overline{T}_j ($^{\circ}\text{C}$) в виде отношения

$$PT_j = P_j / \overline{T}_j \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}; \quad (18.5)$$

– **гидротермический коэффициент расхода** ET_j , который связывает суммарное испарение E_j^0 (мм) и температуру \overline{T}_j ($^{\circ}\text{C}$) в виде отношения

$$ET_j = E_j^0 / \overline{T}_j \text{ мм} / ^{\circ}\text{C}. \quad (18.6)$$



Рис. 18.2. Структурная блок-схема для определения типового распределения метеофакторов при наличии данных многолетних наблюдений по объекту



Рис. 18.2. Окончание

Рассмотренные метеорологические комплексы учитывают все основные метеофакторы, которые в достаточной степени характеризуют климатические условия местности в целом за период вегетации и используются в режимных водобалансовых и агрометеорологических расчетах.

Кроме того, они связаны между собой

$$ET_j = EP_j \cdot PT_{j \text{ мм}} / ^\circ\text{C} \quad (18.7)$$

Таким образом, получаем новые вычисленные массивы данных вида

$$\bar{x}_{ij} = (P_j, \bar{T}_j, \bar{D}_j, \bar{H}_j, EP_j, PT_j, ET_j), \quad i = \overline{1, l}; \quad j = \overline{1, n_j}, \quad (18.8)$$

где \bar{x}_{ij} – векторы состояния (массивы вычисленных данных) вегетационных значений исследуемых метеофакторов и комплексов совокупности $\{i\}$, $i = \overline{1, l}$ ($l = 7$) за годы наблюдений совокупности $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$.

По массивам данных (18.8) формируются статистические последовательности из вегетационных значений метеорологических факторов и комплексов \bar{X}_{ij} $i = \overline{1, l}$; $j = \overline{1, n_j}$ для последующей их схематизации по типовым метеорологическим режимам.

4. Для полученных статистических последовательностей по стандартным методикам определяются следующие основные статистические характеристики (рис. 18.2, блок 5): обеспеченность p_{ij} (%) фактических вегетационных значений метеорологических величин $\{i\}$, $i = \overline{1, l}$ статистического ряда $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$; их максимальные X_i^{\max} и минимальные X_i^{\min} значения; размах варьирования (амплитуда) A_i ; средние арифметические значения (средние многолетние нормы) \bar{X}_i ; модульные коэффициенты $k_{p_{ij}}$; коэффициенты вариации C_{v_i} и асимметрии C_{s_i} ; относительные средние квадратические погрешности $S_{\bar{X}_i}$, $S_{C_{v_i}}$, $S_{C_{s_i}}$ и др.

5. По результатам реализации блоков 4 и 5 выполняется комплексная оценка климатических условий исследуемого объекта по соответственно разработанному показателю.

На основании многомерного статистического анализа многолетних рядов наблюдений за основными метеофакторами отдельных метеостанций в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения Украины, который выполнялся общепринятыми методами с использованием ЭВМ, была разработана методика комплексной оценки климатических условий периода вегетации с помощью интегрального показателя обеспеченности CIP_j вегетационных значений метеофакторов и построенных на их основе метеорологических комплексов [10, 17].

Последний определяется по формуле

$$CIP_j = 1 - \sum_{i=1}^l m_{ij} / (l \cdot n_j), \quad (18.9)$$

где $\sum_{i=1}^l m_{ij}$ – сумма мест, занимающих метеофакторами и комплексами совокупности $\{i\}$, $i = \overline{1, l}$ в приведенных к сопоставимому виду статистических последовательностей их вегетационных значений за проработанные годы наблюдений $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$.

Значения показателя CIP_j , определенного по (18.9), изменяются в пределах $\{0, 1\}$, практически никогда не достигая предельных значений, подтверждает действительно сложный и неоднозначный характер климатообразующих составляющих.

Полученные его значения обрабатываются с помощью статистик блока 5 (рис. 18.2, блок 6).

6. При необходимости может быть осуществлено обоснование и выбор из имеющегося ряда многолетних наблюдений репрезентативного периода, характеризующего заверченный цикл лет по его влагообеспеченности (рис. 18.2, блок 7).

7. Для этого может быть применен метод, разработанный в гидрологии и описанный В. Андреевым [1].

8. Затем осуществляется распределение j -х членов статистической последовательности на определенные, расчетные по обеспеченности показателя CIP_j , группы совокупности $P = \{p\}$,

$p = \overline{1, n_p}$ с последующим формированием соответствующих групп из вегетационных значений $\{X_{ipj}\}$, $i = \overline{1, l}$; $p = \overline{1, 5}$; $j = \overline{1, n_j}$ метеорологических факторов и комплексов (рис. 18.2, блок 8).

В таблице 18.1 приведена схематизация введенных метеофакторов и комплексов в виде совокупности $P = \{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ ($n_p = 5$) из пяти характерных (типовых) относительно условий увлажнения групп с учетом природной смены обеспеченности метеофакторов и комплексов в расчетных группах.

Таблица 18.1

Схематизация природно-климатических условий по расчетной обеспеченности метеофакторов и комплексов

Обеспеченность p (%) по $P_j, \bar{H}_j, PT_j, CIP_j$	Типовые группы по расчетной обеспеченности $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p} (n_p = 5)$	Обеспеченность p (%) по $\bar{T}_j, \bar{D}_j, EP_j, ET_j$
0 ... 20%	$p = 1$, очень влажная	80 ... 100%
20 ... 40%	$p = 2$, влага	60 ... 80%
40 ... 60%	$p = 3$, средняя	40 ... 60%
60 ... 80%	$p = 4$, сухая	20 ... 40%
80 ... 100%	$p = 5$ очень сухая	0 ... 20%

Такой подход считается приемлемым потому, что, имея статистические последовательности с практически весьма ограниченными объемами выборки (обычно в пределах 30–50 лет), общее количество типовых (расчетных по условиям тепло- и влагообеспеченности) группам должно быть таким, чтобы обеспечивалось требование относительно существенной разницы между значениями вегетационных норм \bar{X}_{fp} , $f = \overline{1, n_f}$; $p = \overline{1, n_p}$ метеофакторов и комплексов среди определенных групп и ее отсутствия между соответствующими наблюдаемыми значениями X_{fpj} , $f = \overline{1, n_f}$; $p = \overline{1, n_p}$; $j = \overline{1, n_j}$ в пределах каждой группы.

По сложившимся вегетационным значениям метеорологических факторов и комплексов в пределах расчетных групп согласно [6] исчисляются такие статистические показатели: средние арифметические значения \bar{X}_{ip} , $i = \overline{1, l}$; $p = \overline{1, 5}$; величины дисперсии S_{ip}^2 и S_{ip} , $i = \overline{1, l}$; $p = \overline{1, 5}$; абсолютные $S_{\bar{X}_{ip}}$ и относительные $S_{\bar{X}_{ip}}$ (%), $i = \overline{1, l}$; $p = \overline{1, 5}$ погрешности выборочных средних; их доверительные интервалы с использованием критерия Стьюдента t_{05} на 5%-ном уровне значимости $\bar{X}_{ip} \pm t_{05} \cdot S_{\bar{X}_{ip}}$, $i = \overline{1, n_i}$; $p = \overline{1, 5}$.

9. Для оценки существенности различия между полученными выборочными средними вегетационными значениями метеофакторов и комплексов \bar{X}_{ip} в пределах расчетных групп $\{p\}$, $p = \overline{1, 5}$ применяется дисперсионный анализ с использованием критерия Фишера F_{05} на 5%-ном уровне значимости. Этим подтверждается правомерность разделения обрабатываемых статистических последовательностей на 5 типовых (расчетных по влагообеспеченности) групп (рис. 18.2, блок 9).

Если разница между двумя средними значениями двух смежных групп (d) будет больше (НСР₀₅), то она является значимой.

10. После разделения статистической последовательности на типовые группы определяются доли различных по влагообеспеченности периодов вегетации $\{\alpha_p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ в пределах обрабатываемого периода по статистическому ряду лет $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ (рис. 18.2, блок 10)

$$\alpha_p = n_{jp} / n_j, p = \overline{1, n_p}, \quad (18.10)$$

где n_{jp} – количество членов ряда лет наблюдений совокупности $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ вошедших в p -ую по увлажненности группу лет совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ обрабатываемой статистической последовательности.

10. Типовое распределение рассматриваемых метеофакторов получаем путем усреднения их значений в той или иной определенной расчетной группе лет за соответствующие расчетные интервалы времени $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ внутри расчетных по влагообеспеченности периодов вегетации совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, 5}$ (рис. 18.2, блок 11).

Аналогично (18.1) в декадном разрезе имеем

$$\bar{x}_{fp\tau} = \{x_{fp\tau}\} = (P_{p\tau}, \bar{T}_{p\tau}, \bar{D}_{p\tau}, \bar{H}_{p\tau}), f = \overline{1, 4}; p = \overline{1, 5}; \tau = \overline{10, 30}. \quad (18.11)$$

Пример типового распределения основных метеофакторов по соответствующим расчетным периодам вегетации для условий Житомирского Полесья полученный на основании применения метода для имеющихся данных многолетних наблюдений, приведен на рисунке 18.3.

11. Процедура аналитического анализа результатов вычислений (рис. 18.2, блок 12) предусматривает визуальную параметрическую оценку и сравнение числовых значений полученных типовых внутривегетационных распределений основных метеофакторов по данным многолетних наблюдений по объекту, который рассматривается.

12. По полученным результатам определения типового распределения метеофакторов по фактическим данным осуществляется их формализация (рис. 18.2, блок 13).

Распределение вегетационных норм метеорологических величин \bar{X}_{fp} , $f = \overline{1, n_f}$; $p = \overline{1, n_p}$ за расчетные промежутки времени $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ внутри расчетных по влагообеспеченности периодов вегетации может быть представлено кривыми Фурье n -го порядка согласно [8] такой общей моделью векторно-матричного вида:

$$\bar{x}_{fp} = a_{0fp} + \sum_{n=1}^n (a_{nfp} \cos nC \cdot \tau + b_{nfp} \sin nC \cdot \tau), f = \overline{1, n_f}; p = \overline{1, n_p}; \tau = \overline{1, n_\tau}, \quad (18.12)$$

где \bar{x}_{fp} – вектор состояния (расчетные величины значений) f -го метеофакторов за расчетный интервал времени внутри p -го расчетного по влагообеспеченности периода вегетации;

C – константа, равная $360^\circ / N_x$ (где N_x – количество расчетных интервалов времени в цикле);

n – порядок периодической кривой;

a, b – эмпирические коэффициенты уравнения периодической кривой.

Проведенные исследования и полученные по ним результаты показали, что применение кривых Фурье 2-го порядка в целом обеспечивает достаточное для инженерной практики соответствие фактических и расчетных данных. Они также свидетельствуют об общем, достаточно высоком уровне эффективности применения рассматриваемой модели формализации внутривегетационного распределения метеофакторов. Пример типового распределения основных метеофакторов по расчетным периодам вегетации для уровней Житомирского Полесья, описанный кривыми Фурье 2-го порядка фактических данных, представлен на рисунке 18.3.

Как уже отмечалось ранее (см. пункт 18.4), проведенные исследования и полученные по ним результаты показали, что применение кривых Фурье 2-го порядка в целом обеспечивает достаточную для практики соответствие фактических и расчетных данных. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен далее (см. пункт 18.5).

13. Оценка имитационной способности модели (рис. 18.2, блок 14) осуществляется с помощью соответствующих статистических методов, критериев и показателей. Более подробно этот вопрос рассмотрен далее (см. пункт 18.5).

14. Процедура аналитического анализа результатов моделирования (рис. 18.2, блок 15) предусматривает визуальную параметрическую оценку и сравнение числовых значений полученных фактических и расчетных распределений метеофакторов, а также соответствующих статистических показателей и критериев их оценки.

15. Процедура графического анализа результатов моделирования (рис. 18.2, блок 16) предусматривает визуальную оценку и сравнение полученных фактических и расчетных распределений метеофакторов в графическом виде.

16. Процедура печати (рис. 18.2, блок 18) предусматривает вывод любых результатов моделирования в аналитическом или графическом виде.

Пример реализации модели по прогнозу типовых метеорологических режимов на долгосрочной основе при наличии многолетних данных для условий северо-западной части Житомирского Полесья приведен для большей наглядности в графическом виде на рисунках 18.3 и 18.4.

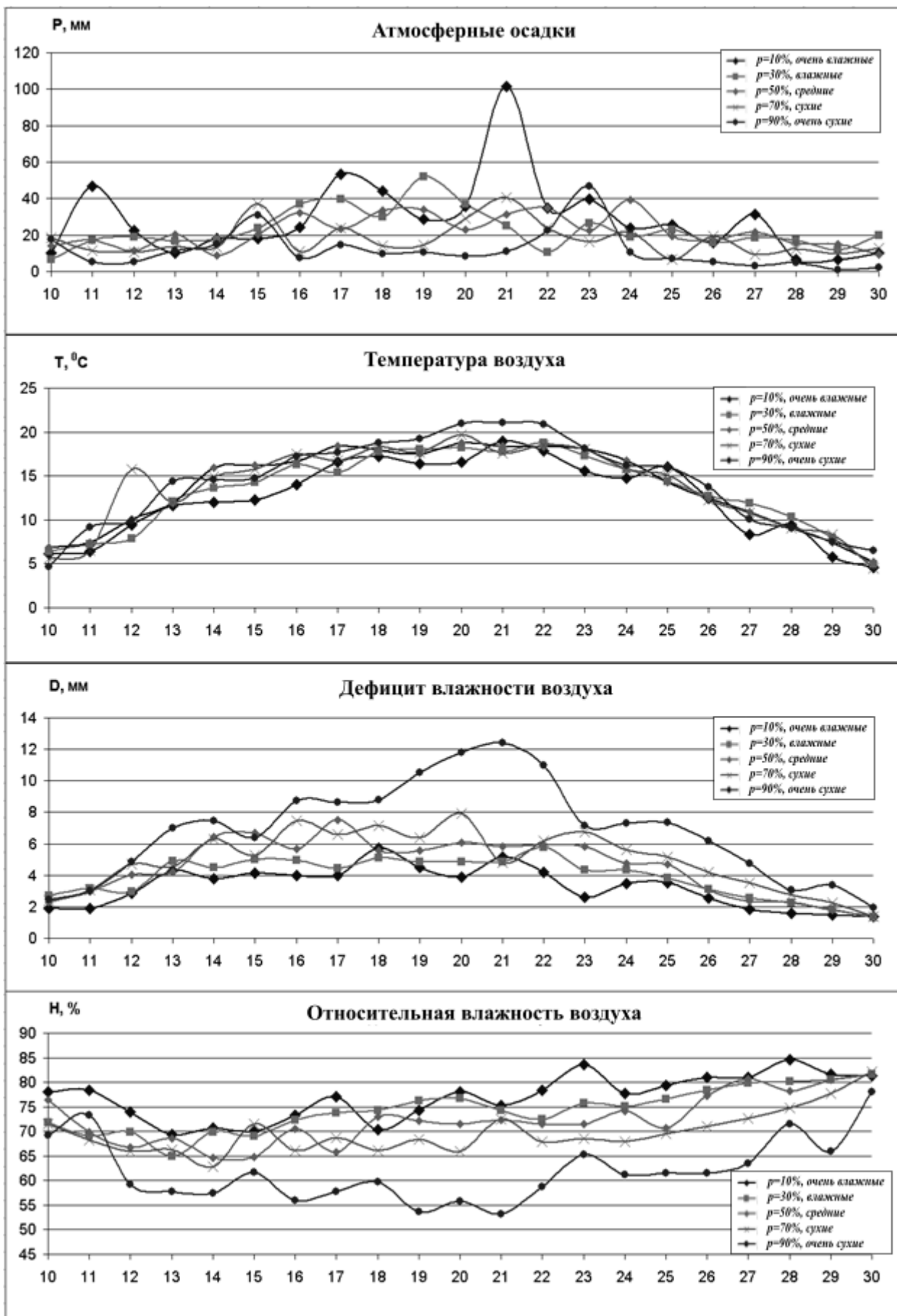


Рис. 18.3. Типовое распределение метеофакторов по расчетным периодам вегетации для условий Житомирского Полесья, полученное путем обработки данных многолетних наблюдений

18.5. Прогноз типичных метеорологических режимов на долгосрочной основе при отсутствии многолетних данных

Очень часто при выполнении прогнозных режимных расчетов на стадии проектирования или плановой эксплуатации мелиоративных систем нет возможности сформировать необходимую базу данных из многолетних наблюдений за метеофакторами для рассматриваемого объекта. В этом случае разработана и предлагается соответствующая модель получения обычного распределения метеофакторов [10]. Она основывается на использовании имеющихся доступных для пользователя усредненных во времени и пространстве справочных данных о среднемноголетних вегетационных нормах основных метеофакторов и их соответствующее нормированное распределение в декадном сечении в пределах административных областей Украины, которые находятся в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения. Модель, которая рассматривается, как и в предыдущем случае, должна быть реализована в двух плоскостях (см. пункт 18.4).

Поскольку результаты исследования характера распределения фактических вегетационных величин метеофакторов показали их достаточно хорошее соответствие теоретическому распределению, описываемому биномиальной асимметричной кривой, поэтому при реализации модели в вертикальной плоскости (в многолетнем разрезе) значения вегетационных норм необходимых метеофакторов для расчетных периодов вегетации могут быть определены по формуле

$$\bar{X}_{fp} = k_{pfp} \cdot \bar{X}_f, \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (18.13)$$

где \bar{X}_{fp} – вегетационная норма f -го метеофактора в p -й расчетный по влагообеспеченности период вегетации;

k_{pfp} – соответствующее усредненное значение модульного коэффициента по кривой распределения обеспеченности вегетационных величин метеофакторов в многолетнем разрезе;

\bar{X}_f – среднемноголетняя вегетационная норма f -го метеофактора.

Тогда усредненные значения k_{pfp} могут быть определены как

$$k_{pfp} = 1 + C_{vf} \cdot \Phi_{fp}, \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (18.14)$$

где C_{vf} – коэффициент вариации вегетационной нормы f -го метеофактора;

Φ_{fp} – соответствующие усредненные значения нормированных отклонений ординат кривых обеспеченности от среднего для f -го метеофактора в пределах p -й расчетной по влагообеспеченности группы.

Распределение вегетационных значений метеорологических величин \bar{X}_{fp} , $f = \overline{1, n_f}$; $p = \overline{1, n_p}$ за расчетные промежутки времени $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ в пределах расчетных вегетационных периодов может быть представлено периодическими кривыми Фурье n -го порядка.

В упрощенном виде распределение средневегетационных значений метеорологических величин в расчетные промежутки времени в течение периода вегетации с помощью кривых Фурье 2-го порядка может быть представлено как

$$\bar{x}_{fp} = a_{1fp} + a_{2fp} \cdot U_1 + a_{3fp} \cdot U_2 + a_{4fp} \cdot U_3 + a_{5fp} \cdot U_4, \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (18.15)$$

где $a_1 \dots a_5$ – коэффициенты кривых Фурье 2-го порядка;

$$U_1 = \cos C \cdot \tau; \quad U_2 = \sin C \cdot \tau; \quad U_3 = \cos 2C \cdot \tau; \quad U_4 = \sin 2C \cdot \tau;$$

τ – фактическое количество единиц времени к данному моменту, начиная от произвольно выбранного стартового цикла (порядковый номер расчетного интервала времени).

При этом изменение величины константы C в уравнении кривой Фурье в соответствии с выбранным шагом дискретизации модели позволяет переходить, например, от декадных к недельным или пентадным расчетным интервалам времени внутри периода вегетации, и наоборот.

Пример формализации типового распределения метеофакторов по расчетным периодам вегетации с помощью кривых Фурье 2-го порядка, полученного при наличии данных наблюдений для условий Житомирского Полесья (см. пункт 18.4, рис. 18.3), приведены в виде соответствующих коэффициентов кривых Фурье (табл. 18.2) и в графическом виде (рис. 18.4).

Коэффициенты кривых Фурье 2-го порядка типичного распределения метеофакторов по расчетным периодам вегетации для условий Житомирского Полесья (при наличии данных наблюдений)

№ п/п	Типичные группы лет по условиям увлажнения	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
осадков, \bar{P}_{pt}^{rc} (\bar{P}_{pt}^{rc})						
1	г.= 1, очень влажная	0,814	0,642	-0,251	0,173	0,114
2	г. = 2, влага	0,711	0,358	-0,276	-0,127	-0,177
3	г. = 3, средняя	0,691	0,459	-0,056	-0,032	-0,026
4	г.= 4, сухая	0,407	0,242	-0,198	0,051	0,066
5	г. = 5, очень сухая	-0,184	0,547	-0,479	0,079	0,593
Температуры воздуха, \bar{T}_{pt}^{rc} (\bar{T}_{pt}^{rc})						
1	г.= 1, очень влажная	2,450	0,509	-0,159	-0,106	0,138
2	г. = 2, влага	2,525	0,467	-0,142	-0,142	0,101
3	г. = 3, средняя	2,555	0,463	-0,196	-0,129	0,134
4	г.= 4, сухая	2,541	0,505	-0,177	-0,143	0,149
5	г. = 5, очень сухая	2,585	0,504	-0,188	-0,097	0,140
Дефицита влажности воздуха, \bar{D}_{pt}^{rc} (\bar{D}_{pt}^{rc})						
1	г.= 1, очень влажная	1,104	0,393	-0,365	-0,052	0,156
2	г. = 2, влага	1,296	0,348	-0,305	-0,039	0,222
3	г. = 3, средняя	1,412	0,450	-0,939	-0,090	0,244
4	г.= 4, сухая	1,509	0,501	-0,278	-0,087	0,219
5	г. = 5, очень сухая	1,807	0,621	-0,274	-0,085	0,159
Относительной влажности воздуха, \bar{H}_{pt}^{rc} (\bar{H}_{pt}^{rc})						
1	г.= 1, очень влажная	4,342	0,0002	0,069	0,008	-0,020
2	г. = 2, влага	4,308	0,017	0,056	-0,011	-0,050
3	г. = 3, средняя	4,281	-0,013	0,072	0,008	-0,051
4	г.= 4, сухая	4,244	-0,026	0,047	0,006	-0,042
5	г. = 5, очень сухая	4,120	-0,087	0,063	0,022	-0,021

Исходя из рассмотренных предпосылок типичное распределение метеофакторов вида (18.11) при отсутствии данных наблюдений может быть получено на основе использования их среднееголетних вегетационных норм $\{\bar{X}_f\}$, $f = \overline{1, n_f}$ для рассматриваемого объекта, их соответствующих усредненных нормированных вегетационных значений $\{\bar{X}_f^0\}$, $f = \overline{1, n_f}$ и внутривегетационного распределения $\{x_{f\tau}^0\}$, $f = \overline{1, n_f}$; $\tau = \overline{1, n_\tau}$ в пределах административной области зоны достаточного и неустойчивого увлажнения Украины ω , $\omega = \overline{1, n_\omega}$, где объект расположен [6,7 и др.].

В таком случае нужна система базовых уравнений кривых Фурье 2-го порядка, описывающих среднееголетнее внутривегетационное нормированное распределение метеофакторов в декадном сечении в пределах соответствующей административной области.

Для этого разработана и предлагается такая статистическая регрессионная модель векторно-матричного вида

$$\bar{x}_{fp} = \mu_f \cdot \bar{k}_{pfp} \cdot \bar{x}_{f\omega}^0, \quad f = \overline{1, n_f}, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad \omega = \overline{1, n_\omega}, \quad (18.16)$$

где μ_f – коэффициенты привязки системы базовых уравнений к условиям объекта, который рассматривается;

\bar{k}_{pfp} – векторы модульных коэффициентов перехода от нормированного внутривегетационного распределения метеофакторов к расчетным периодам вегетации $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$;

$\bar{x}_{f\omega}^0$ – векторы базовых уравнений кривых Фурье 2-го порядка, описывающие нормированное распределение метеофакторов совокупности $\{f\}$, $f = \overline{1, n_f}$ в пределах административных областей совокупности $\{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$.

Сущность разработанной методики заключается в том, чтобы на основе использования системы базовых уравнений Фурье 2-го порядка получить необходимую новую их систему для исследуемого объекта, расположенного в пределах соответствующей административной области, описывающую типичное распределение основных метеорологических элементов в характерные вегетационные периоды для выбранного расчетного шага дискретизации модели.

Укрупненная блок-схема получения нормированного распределения метеофакторов по рассмотренным принципам и подходам представлена на рисунке 18.5.

Поскольку указанные расчеты являются трудоемкими, поэтому целесообразно их выполнять на ЭВМ. Алгоритм выполнения соответствующих расчетов и пояснения к ним выглядят следующим образом.

1. Формирование и ввод исходных данных в ЭВМ (рис. 18.5, блок 2). Как переменные характеристики для выполнения прогнозных расчетов рассматриваются средние многолетние вегетационные (суммарные) значения по основным метеорологическим величинам \hat{N}_f , $f = \overline{1, 3}$ (осадкам, температуре и дефициту влажности воздуха), а также соответствующие им значения коэффициентов вариации C_{V_f} , $f = \overline{1, 3}$ по базовой административной области и расположенному в ней изучаемому объекту.

Как справочно-нормативные постоянные характеристики используются базовые уравнения кривых Фурье 2-го порядка $\{\bar{x}_f^o\}$, $f = \overline{1, 3}$ и средние значения нормированных отклонений от середины ординат кривых биномиального распределения $\{\Phi_{fp}\}$, $f = \overline{1, 3}$, $p = \overline{1, 5}$ для соответствующих метеофакторов в расчетные по условиям тепло- и влагообеспеченности вегетационные периоды.

Для реализации модели сформированы и приведены необходимые справочно-нормативные данные [10].

2. Формирование составляющих системы базовых уравнений кривых Фурье 2-го порядка $\{\bar{x}_{f\omega}^o\}$, $f = \overline{1, 3}$; $\omega = const$, описывающих среднее многолетнее (нормированное) внутривегетационное распределение метеофакторов в пределах соответствующей административной области (рис. 18.5, блок 3).

3. Определение коэффициентов привязки $\{\mu_f\}$, $f = \overline{1, 3}$ системы базовых уравнений среднего многолетнего (нормированного) распределения метеофакторов к условиям рассматриваемого объекта (рис. 18.5, блок 4).

Такие коэффициенты вычисляются по формуле

$$\mu_f = \ln \bar{x}_f / \ln \bar{x}_{f\omega}^o, f = \overline{1, n_f}, \quad (18.17)$$

где \bar{x}_f , $\bar{x}_{f\omega}^o$ – соответствующие средние многолетние значения (нормы) средней декадной интенсивности f -го метеофактора для условий объекта и административной области, где он расположен.

В выражении (18.17):

$$\bar{x}_f = \hat{N}_f / 213; \quad (18.18)$$

$$\bar{x}_{f\omega}^o = \hat{N}_{f\omega}^o / 213, \quad (18.19)$$

где \hat{N}_f и $\hat{N}_{f\omega}^o$ – соответствующие суммарные средние многолетние (нормированные) значения f -го метеофактора за период вегетации (продолжительностью 213 суток) для объекта и административной области, где он расположен.

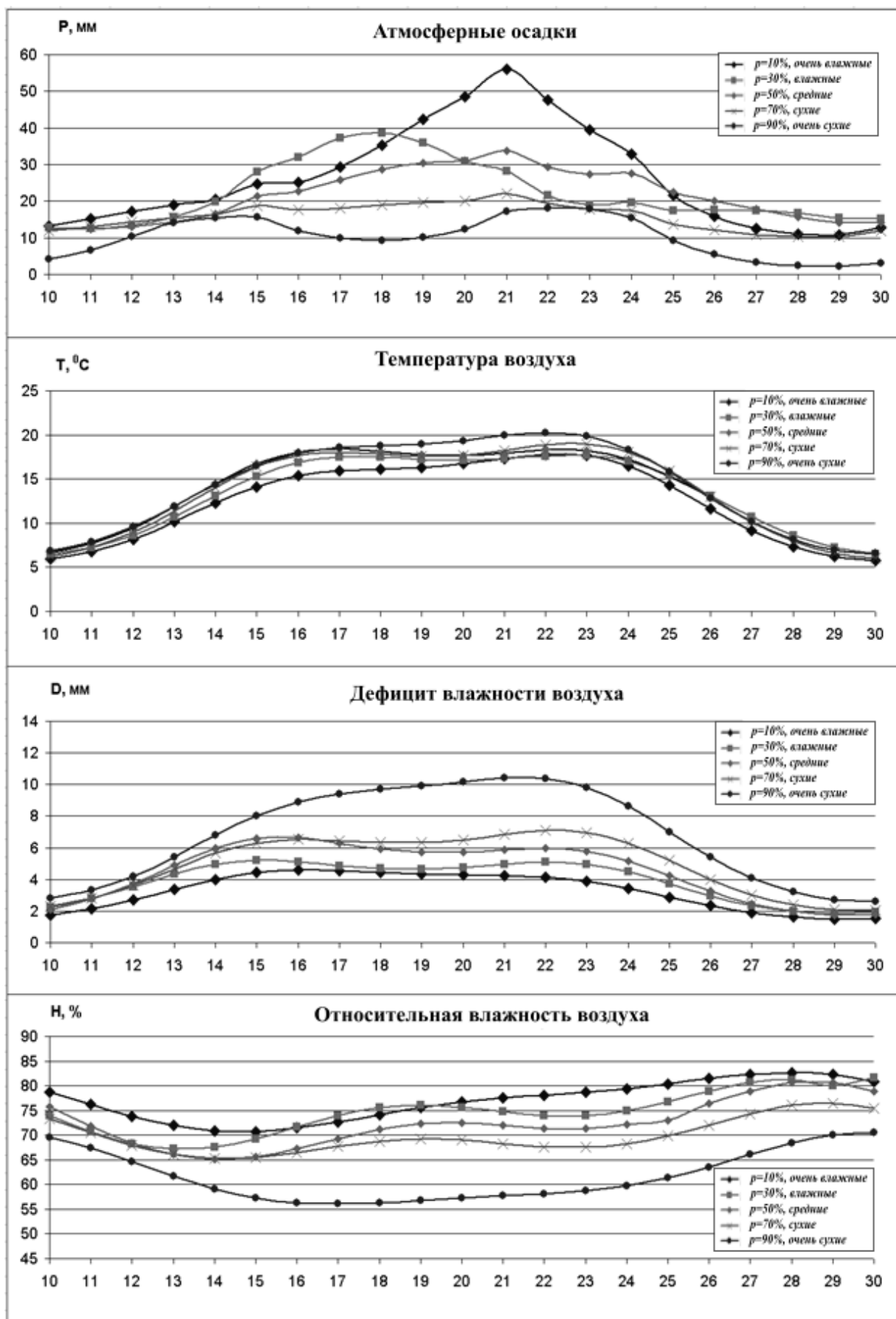


Рис. 18.4. Типовое распределение метеофакторов по расчетным периодам вегетации для условий Житомирского Полесья (кривые Фурье 2-го порядка при наличии данных наблюдений)

4. Определение модульных коэффициентов $\{k_{p_{fj}}\}$, $f = \overline{1,3}$; $p = \overline{1,5}$ перехода от среднего многолетнего (нормированного) распределения метеофакторов к расчетным в условиях тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода различной вероятности превышения (τ), (рис. 18.5, блок 5). Векторы модульных коэффициентов $\vec{k}_{p_{fp}}$ совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ ($n_p = 5$) могут быть представлены как

$$\vec{k}_{p_{fp}} = (k_{p_{f1}}, k_{p_{f2}}, k_{p_{f3}}, k_{p_{f4}}, k_{p_{f5}}), \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, 5}, \quad (18.20)$$

5. Получение новой системы уравнений кривых Фурье 2-го порядка $\{\vec{x}_{fp}\}$, $f = \overline{1,3}$; $p = \overline{1,5}$, описывающих векторы состояния метеофакторов (метеорологических режимов) в расчетные по условиям тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода для исследуемого объекта (рис.18.5, блок 6). С учетом (18.17), (18.20) и возможной структурной перестройки общая модель приобретает вид

$$\begin{aligned} \vec{x}_{fp} &= \mu_f \cdot \vec{k}_{p_{fp}} \cdot \vec{x}_{f\omega}^0 = \mu_f \cdot \vec{k}_{p_{fp}} \cdot \vec{a}_{jf\omega}^0 \cdot \vec{U}_{j-1} = \\ &= \mu_f \times (k_{p_{f1}}, k_{p_{f2}}, k_{p_{f3}}, k_{p_{f4}}, k_{p_{f5}}) \times \begin{pmatrix} a_{1f\omega}^0 \\ a_{2f\omega}^0 \\ a_{3f\omega}^0 \\ a_{4f\omega}^0 \\ a_{5f\omega}^0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{1fp}^0 \\ a_{2fp}^0 \\ a_{3fp}^0 \\ a_{4fp}^0 \\ a_{5fp}^0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} = \\ &= \vec{a}_{jfp} \cdot \vec{U}_{j-1}, \quad j = \overline{1, n_j}; \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}. \end{aligned} \quad (18.21)$$

6. Процедура решения полученной системы уравнений и определения по ним типичного распределения метеофакторов $\{\vec{x}_{fp\tau}\}$, $f = \overline{1,3}$; $p = \overline{1,5}$; $\tau = \overline{10,30}$ (рис. 18.5, блок 7). Решение матрицы (18.21) позволяет получить новую систему уравнений кривых Фурье 2-го порядка, описывающих уже распределение логарифмов декадных значений осадков, температуры и дефицита влажности воздуха $\{f\}$, $f = \overline{1,3}$ в расчетные об условиях тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода определенной совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1,5}$ для исследуемого объекта, по которым определяется через потенцирование распределение их действительных значений вида

$$\vec{x}_{fp\phi} = \{x_{fp\phi}\} = (P_{p\tau}, \bar{T}_{p\tau}, \bar{D}_{p\tau}), \quad f = \overline{1,3}; \quad p = \overline{1,5}; \quad \tau = \overline{10,30}. \quad (18.22)$$

7. Определение, по необходимости пользователя, сведений из типичного распределения относительной влажности воздуха для условий исследуемого объекта (рис. 18.5, блок 8). При необходимости данных с относительной влажности воздуха \bar{H}_τ вычисляются нужные их значения по формуле (18.3).

При выполнении расчетов в первом приближении принимается $a_f = 1,0$ и, при необходимости оно может быть уточнено по фактическим данным путем параметризации модели.

8. Процедура печати (рис. 18.5, блок 9) предусматривает вывод любых результатов моделирования в аналитическом или графическом виде.

Пример реализации модели по прогнозированию типичных метеорологических режимов на долгосрочной основе при отсутствии многолетних данных для зоны Житомирского Полесья с использованием необходимых базовых уравнений согласно [13 и др.] приведен для большей наглядности коэффициентами кривых Фурье 2-го порядка по типичного распределения метеофакторов по расчетным периодам вегетации (табл. 18.3) и соответствующем графическом виде (рис. 18.6). В данном случае значение распределения показателей относительной влажности воздуха вычисленные по формуле (18.3) при известных значений показателей температуры и дефицита влажности воздуха по соответствующим их распределений.

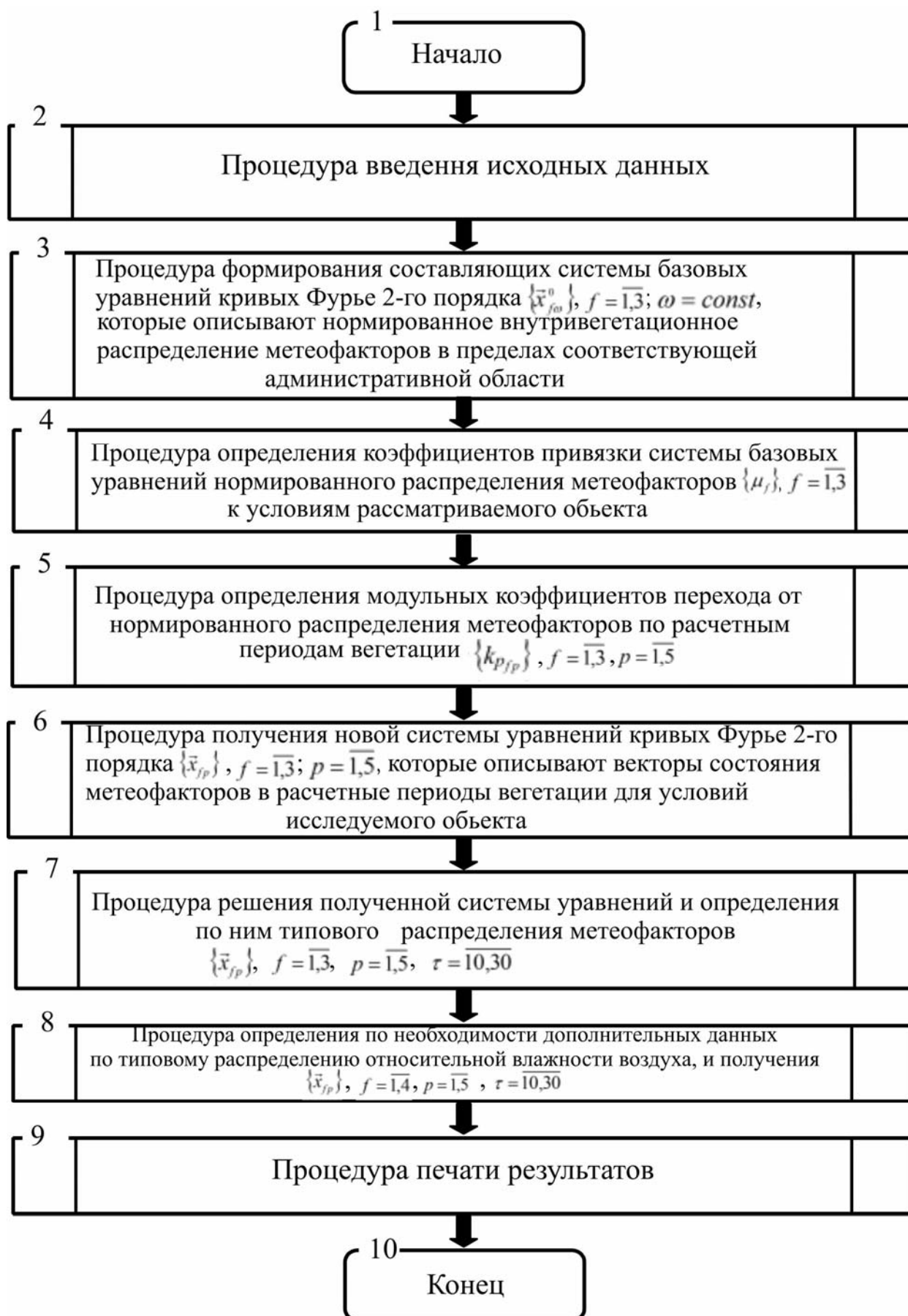


Рис. 18.5. Структурная блок-схема по определению типового распределения метеофакторов при отсутствии данных многолетних наблюдений по объекту

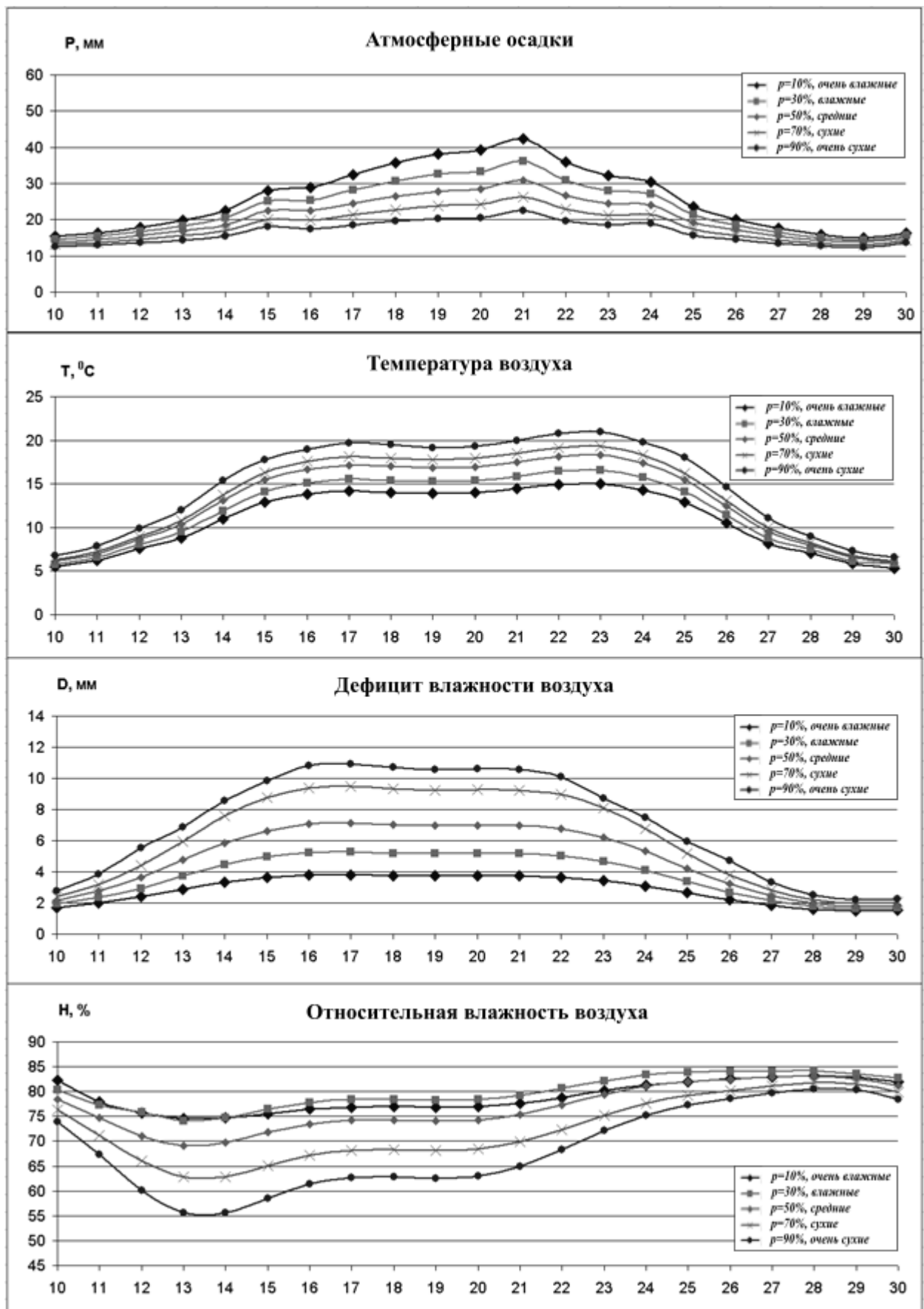


Рис. 18.6. Типовое распределение метеофакторов по расчетным периодам вегетации для условий Житомирского Полесья (кривые Фурье 2-го порядка при отсутствии данных наблюдений)

Коэффициенты кривых Фурье 2-го порядка типичного распределения метеофакторов по расчетным периодам вегетации для условий Житомирского Полесья (при отсутствии данных наблюдений)

№ п/п	Типичные группы лет по условиям увлажнения	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
осадков, $(\bar{P}_{пт}^{rc}) \bar{P}_{пт}^{rc}$						
1	г.= 1, очень влажная	0,875	0,445	-0,182	0,028	0,017
2	г. = 2, влага	0,772	0,393	-0,160	0,025	0,015
3	г. = 3, средняя	0,669	0,340	-0,139	0,021	0,013
4	г.= 4, сухая	0,568	0,288	-0,117	0,018	0,011
5	г. = 5, очень сухая	0,463	0,236	-0,096	0,015	0,009
Температуры воздуха, $(\bar{T}_{пт}^{rc}) \bar{T}_{пт}^{rc}$						
1	г.= 1, очень влажная	2,382	0,494	-0,159	-0,139	0,137
2	г. = 2, влага	2,458	0,510	-0,164	-0,143	0,141
3	г. = 3, средняя	2,540	0,527	-0,170	-0,148	0,146
4	г.= 4, сухая	2,584	0,536	-0,173	-0,150	0,148
5	г. = 5, очень сухая	2,689	0,558	-0,180	-0,158	0,154
Дефицита влажности воздуха, $(\bar{D}_{пт}^{rc}) \bar{D}_{пт}^{rc}$						
1	г.= 1, очень влажная	0,996	0,358	-0,287	-0,037	0,132
2	г. = 2, влага	1,242	0,446	-0,358	-0,046	0,165
3	г. = 3, средняя	1,470	0,528	-0,424	-0,054	0,195
4	г.= 4, сухая	1,683	0,604	-0,485	-0,062	0,223
5	г. = 5, очень сухая	1,944	0,698	-0,560	-0,072	0,258

18.6. Оценка имитационной способности моделей климатологического прогноза

18.6.1. Общие положения. Как известно, любая модель исследуемого процесса имеет то или иное количество неизвестных числовых величин или параметров, от выбора которых зависит качество работы модели, то есть такая ее точность, с которой вычисленные фазовые траектории совпадают с измеренными в комплексном полевом эксперименте. Отсюда возникает необходимость выполнения оценки имитационной способности моделей, то есть разработки определенного уровня соответствия результатов, полученных по разработанным моделям и реальным данным. Для этого применяются методы идентификации и верификации моделей по соответствующим критериям.

Под идентификацией понимают определение параметров модели на основе измеренных экспериментальных значений входа и выхода моделируемой системы, которое должно обеспечить количественное соответствие реакции модели и объекта моделирования на внешние воздействия, которые изменяются в определенных пределах.

Верификация модели предусматривает проверку ее адекватности и оценку точности на независимом материале.

В идеале, к которому следует стремиться, результаты полевого и машинного эксперимента осуществляются по одинаковой схеме и должны быть идентичными. Но это практически никогда не достигается из-за чрезвычайно сложного характера исследуемых процессов на мелиорированных землях и определенной условности их формализации при разработке соответствующих моделей.

В том, что касается параметров модели, могут быть сделаны различные предположения: об их величине может быть ничего неизвестно, могут быть известны границы, в которых должны находиться параметры модели, и, наконец, известны точные значения параметров модели. Очевидно, что в последнем случае задачу идентификации решать нет необходимости.

Чаще всего при исследовании процессов на мелиорированных землях имеет место случай, когда параметры модели известны с некоторой долей неопределенности, то есть об их величине можно

сказать, что они находятся внутри некоторого интервала. Поскольку любая точка интервала может равновероятно претендовать на истинное значение параметра модели, возникает вопрос о методах нахождения оценок параметров модели, которые минимизируют неувязку между измеренными и вычисленными по модели фазовыми траекториями изучаемых процессов.

Степень оправданности моделей метеорологических режимов по климатологическим прогнозам может быть оценена различными способами в зависимости от априорной информации об их статистических свойствах.

Самым простым способом оценки эмпирических моделей является определение уровня сходимости между расчетными (c_0) и наблюдаемыми эмпирическими (фактическими) данными с помощью таких показателей, как относительная погрешность ε , сумма квадратов отклонений $\sum d^2$, коэффициент корреляции r , дисперсия S и др., которые определяются по общим стандартным методикам.

Критериями оценки точности методики прогноза считаются:

1. Корреляционное отношение зависимости предполагаемого явления от его факторов, с помощью которых составляется прогноз (η). Точность методики прогноза удовлетворительная, если $\eta = 0,86 \dots 0,60$ и допустимая, если $\eta \geq 0,87$;

2. Величина σ_y / σ , то есть отношение средней квадратичной погрешности проверочных прогнозов (σ_y) до среднего квадратического отклонения предполагаемой величины (σ). Точность методики прогноза считается хорошей, если $\sigma_y / \sigma \leq 0,50$. Точность прогноза считается удовлетворительной, если $\sigma_y / \sigma = 0,51 \dots 0,80$.

Эффективность методики прогноза показывает, насколько погрешность прогноза меньше равновероятных отклонений от нормы предполагаемой величины или ее изменения в течение периода заблаговременности прогноза. Количественно эффективность методики прогноза может быть охарактеризована величиной σ_y / σ . Корреляционное отношение равно

$$\sqrt{1 - (\sigma_y / \sigma)^2} \eta = \sqrt{1 - (\sigma_y / \sigma)^2} \quad (18.23)$$

Среднее квадратическое отклонение проверочных прогнозов равно

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_B - y_H)^2}{n}} \quad (18.24)$$

где y_B и y_H – соответственно прогнозируемая и подмеченная величины; n – количество проверочных прогнозов.

Но применение таких критериев точности не всегда позволяет адекватно оценить имитационную способность дискретных по времени динамических моделей, описывающих векторы состояния процессов выраженного режимного (переменного во времени) характера, имеющих место на мелиорированных землях, поскольку они не учитывают многопараметричность и распределение погрешностей измерения фазовых траекторий этих процессов. При оценке адекватности рассматриваемых моделей диффузных систем используют специальные, более гибкие статистические критерии точности, основанные на сравнении погрешностей имитации и экспериментальных погрешностей.

При сравнении имитируемых и экспериментальных траекторий фазовых переменных сложных систем целесообразно использовать такие специальные показатели, как «средняя квадратическая относительная погрешность имитации» δ , характеризующая общую имитационную способность модели, которая определяется по формуле

$$\delta = \left\{ \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T \left[\frac{x^c(\tau) - x^r(\tau)}{x^r(\tau)} \right]^2 \right\}^{0,5} \quad (18.25)$$

а также «коэффициент несовпадения Тейла» U , который удовлетворяет требованию «точечного» совпадения экспериментальных и имитированных значений и определяется по формуле

$$U = \frac{\left[(1/T) \sum_{\tau=1}^T (x^c(\tau) - x^r(\tau))^2 \right]^{0,5}}{\left[(1/T) \sum_{\tau=1}^T (x^c(\tau))^2 \right]^{0,5} + \left[(1/T) \sum_{\tau=1}^T (x^r(\tau))^2 \right]^{0,5}} \quad (18.26)$$

В формулах (18.25) и (18.26): T – длина фазовых траекторий, сравниваются; $x^c(\tau)$, $x^r(\tau)$ – соответственно имитированы (расчетные) и экспериментальные (фактические) значения фазовой траектории в расчетные промежутки времени τ по принятому шагом дискретизации модели.

Значения рассмотренных статистических показателей изменяются от 0 (при полном совпадении) до 1 (при несовпадении) имитируемых и экспериментальных данных фазовых траекторий исследуемых процессов.

Когда погрешности имитации не превышают соответствующие экспериментальные (при этом предполагается, что последние при полевых измерениях могут достигать 25 %) и характер имитируемых и экспериментальных траекторий фазовых переменных совпадает, считают, что модель достаточно адекватно описывает поведение системы-оригинала. Для большей наглядности и сравнения целесообразно использовать как традиционные, так и специальные критерии оценки имитационной способности разрабатываемых моделей.

18.6.2. Результаты оценки имитационной способности моделей. Степень совпадения результатов реализации рассмотренных моделей метеорологических режимов по соответствующим климатологическими прогнозам оценивается по уровням сходимости между наблюдаемыми фактическими ($\bar{X}_{p\tau}^r$), расчетными (c_0) при наличии ($\bar{X}_{p\tau}^{rc}$) и отсутствии ($\bar{X}_{p\tau}^c$) базы данных для трех базовых метеорологических факторов (осадки, температура и дефицит влажности воздуха) с помощью таких статистических показателей, как относительная погрешность (ε), коэффициент корреляции (r), корреляционное отношение (η), средняя квадратическая относительная погрешность имитации (δ), коэффициент несовпадения Тейла (U). При этом относительная погрешность (ε) определялась по суммарным значениям осадков, температуры и дефицита влажности воздуха относительно расчетных периодов вегетации и соответствующих средневегетационных значений относительной влажности воздуха.

Обобщенные результаты оценки точности рассмотренных моделей обработки и прогноза метеофакторов по рассмотренным данным в условиях Житомирского Полесья приведены в таблице 18.4 и демонстрируют в целом достаточно высокий уровень сходимости между расчетными (c_0) и наблюдаемыми эмпирическими (фактическими) данными даже для самой изменчивой из метеорологических характеристик – атмосферных осадков.

Таблица 18.4

Сравнение обобщенных статистических показателей сходимости между измеренным и вычисленным по различным видам климатологического прогноза делениями метеофакторов для условий Житомирского Полесья

Метеорологические характеристики	Статистические показатели				
	$\varepsilon, \%$	r	η	δ	U
распределение по фактическим ($\bar{X}_{p\tau}^r$) и расчетно-фактическими ($\bar{X}_{p\tau}^{rc}$) данным					
Температура воздуха	0,18	0,97	0,95	0,106	0,038
Дефицит влажности	0,56	0,94	0,93	0,143	0,061
Атмосферные осадки	8,50	0,69	0,78	0,386	0,196
распределение по фактическим ($\bar{X}_{p\tau}^r$) и расчетными ($\bar{X}_{p\tau}^c$) данным					
Температура воздуха	3,32	0,97	0,95	0,128	0,055
Дефицит влажности	14,3	0,92	0,93	0,236	0,112
Атмосферные осадки	12,1	0,59	0,78	1,011	0,215
распределение по расчетно-фактическими ($\bar{X}_{p\tau}^{rc}$) и расчетными ($\bar{X}_{p\tau}^c$) данным					
Температура воздуха	1,03	0,99	0,96	0,075	0,037
Дефицит влажности	14,5	0,98	0,97	0,171	0,102
Атмосферные осадки	17,6	0,88	0,98	0,229	0,120

Оценка величины σ_y / σ , то есть отношение средней квадратичной погрешности проверочных прогнозов (σ_y) до среднего квадратического отклонения предполагаемой величины (σ) как критерия точности прогноза показывает, что точность методики прогноза считается хорошей для температуры и дефицита влажности воздуха ($\sigma_y / \sigma \leq 0,50$). Точность прогноза для осадков можно считать удовле-

творительной, в большинстве случаев $\sigma_y / \sigma = 0,51...0,80$. Это указывает на пригодность разработанной по статистическим методам модели климатологического прогноза метеорологических режимов для практического использования в структуре прогнозно-оптимизационных расчетов. При этом полученное по разработанной методике типичное распределение основных метеорологических факторов учитывает сложный характер условий их формирования и не является в полной мере фиктивным по своему содержанию, поскольку отражает более приближенный к усредненным (за счет схематизации) реальным условиям их естественный ход в характерных (расчетных) условиях тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода.

Практическое использование данного метода возможно и целесообразно для метеорологического обеспечения экологических, гидрологических, инженерно-мелиоративных расчетов и агрометеорологических прогнозов на долгосрочной основе.

18.7. Прогнозная оценка метеорологических режимов на долгосрочной основе с учетом изменений климата

Как убедительно свидетельствуют многочисленные результаты исследований, сегодня человечество столкнулось с новой проблемой – глобального изменения климата [2,13, 15, 16, 18, 21].

Украина также относится к числу регионов планеты, где глобальные изменения климата являются ощутимыми. В XX веке на ее территории зафиксировано 43 засушливых года, в том числе 7 из них в последние 15 лет прошлого века. На территории Украины в XX в. прослеживалась общая тенденция к повышению температуры воздуха и увеличению количества атмосферных осадков: Так, за период 1900–1995 гг. годовая температура увеличилась на 0,3...0,7 °С, а осадки – на 50...100 мм. По мнению авторов, существенно (в 1,5 раза) увеличилась и частота значительных аномалий обоих показателей. Возросла также внутрисезонная их изменчивость.

Изменение климата, которое наблюдается сегодня и прогнозируется в будущем, может иметь значительные природные, экономические и социальные последствия, особенно при усилении частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений. Поэтому уже сейчас возникает необходимость по определению последствий прогнозируемых глобальных изменений климата и принятия соответствующих адаптационных решений относительно изменений и смягчения их последствий [13].

Учитывая изменения погодно-климатических условий, можно утверждать, что сегодня очень важная роль отводится прогнозированию возможных изменений климата в будущем как на глобальном, так и региональном уровне. По многочисленным гидрометеорологическими признакам и показателям отечественные специалисты-климатологи приходят к выводу о том, что в Украине за последние 10–25 лет также формируется новый климат [2 и др.].

Потепление нарушит установившееся функционирование экосистем, отразится на природных ресурсах, санитарном и других условиях жизни людей, затронет многие элементы жизнедеятельности. Значительно возрастет эрозия почвы, участятся оползни земель, затопление прибрежных полос, увеличится количество переувлажненных земель.

В сложных природно-технических системах, к которым относятся и гидромелиоративные системы на осушаемых землях (ГМС), выбор режимно-технологических и технических решений на различных уровнях принятия их во времени должен основываться на использовании соответствующей метеорологической информации с целью выбора климатически оптимальных стратегий управления такими системами в многолетнем и внутривегетационном сечении [17].

Для осушаемых территорий с близким залеганием грунтовых вод, на которых размещены осушительные системы Украины, погодно-климатические условия непосредственно принимают участие в формировании водного режима почв и грунтовых вод, определяя направление течения грунтовых процессов как в естественном состоянии, так и в отдельные технологические периоды выращивания сельскохозяйственных культур. В связи с этим прогнозирование погодно-климатических условий является неотъемлемым условием реализации оценки общей эффективности функционирования ГМС.

Кроме того, в проектах их строительства, реконструкции и оптимизации в зоне осушительных мелиораций решение задачи по повышению общей эффективности функционирования действующих ГМС как сложных природно-технических систем и разработки стратегии их дальнейшего развития на ближайшую и отдаленную перспективу требует выполнения соответствующих прогнозных режимных расчетов по таким определенным временным периодам: ретроспективный и современный, которые соответственно отражают эффективность функционирования ГМС с момента ввода их в эксплуатацию и до настоящего времени; прогнозируемый – характеризует ближайшую (прогнозируемый современный) и отдаленную (прогнозируемый будущий) перспективу с учетом имеющихся и возможных изменений климата.

Для решения поставленной задачи был спланирован и осуществлен широкомасштабный машинный эксперимент на ЭВМ с многолетними ретроспективными и современными данными наблюдений в зоне Житомирского Полесья. При этом использованы модели прогнозной оценки на долгосрочной основе нормированного распределения в многолетнем и внутривегетационном сечении основных метеорологических характеристик по методам с информационным и программным обеспечением по их реализации на ЭВМ, разработанным на кафедре природообустройства и гидромелиораций НУВХП [10, 17].

Были спланированы и реализованы следующие варианты исследований:

– вариант 1 – **Base**: характеристика основных метеофакторов за период вегетации (IV–X месяцы), полученных по многолетним ретроспективным данным (1891–1964 гг.) [13];

– вариант 2 – **Transitional**: нормированные среднемноголетние значения величин основных метеофакторов и их распределение за период вегетации;

– вариант 3 – **Recent**: динамика и нормированные среднемноголетние значения величин основных метеофакторов и их распределение за период вегетации полученные в современных условиях с 1991–2015 гг.;

– вариант 4а – **СССМ** и вариант 4б – **УКМО**: нормированные среднемноголетние значения величин основных метеофакторов и их распределение за период вегетации, полученные на основе имеющихся и возможных изменений климата согласно рекомендациям [13], по моделям Канадского климатологического центра «СССМ» – как более благоприятный прогноз и Метеорологического бюро Соединенного Королевства «УКМО» – как менее благоприятный прогноз, предусматривающие повышение среднегодовой температуры воздуха соответственно на 4 °С и 6 °С – при удвоении содержания CO₂ в атмосфере.

Целесообразность применения моделей «СССМ» и «УКМО» при соответствующих прогнозных режимных расчетах подтверждается тем, что они учитывают как менее, так и более критические сценарии изменений погодно-климатических условий и лучше согласуются с использованными моделями прогнозной оценки нормированного распределения основных метеорологических характеристик в многолетнем и внутривегетационном сечениях.

Прогноз осуществлен для пяти типовых групп периодов вегетации расчетных лет по общей тепло- и влагообеспеченности (очень влажный – 10 %, влажный – 30 %, средний – 50 %, сухой – 70 %, очень сухой – 90 %) по следующим основным метеорологическим характеристикам: температура воздуха, осадки, относительная влажность и дефицит влажности воздуха, фотосинтетичноактивная радиация (ФАР), коэффициент влагообеспеченности (отношение суммы осадков к суммарному испарению) по следующей схеме (рис. 18.7).

Разработка климатических сценариев прикладного характера, в частности типичных схем метеорологических режимов на долгосрочной основе, может быть реализована с помощью соответствующих моделей, которые будут описывать типичное распределение основных метеорологических характеристик при изменении климатических условий с учетом глобального потепления.

Распределение векторов основных метеорологических характеристик в условиях изменения климата может быть представлено в неявном виде как

$$\vec{X}_f = \vec{X}_f^o + \Delta\vec{X}_f, \quad f = \overline{1, n_f} \quad (18.27)$$

где \vec{X}_f^o – вектор среднемноголетних норм f-го метеофакторов, который определяется по базовому сценарию на основе ретроспективных статистических метеоданных формирования метеорологических режимов в современных условиях (см. пункты 18.5, 18.6).

$\Delta\vec{X}_f$ – соответствующие прогнозируемые изменения среднемноголетних норм f-го метеофакторов при изменении климата, определены, согласно [13], по соответствующим моделям прогноза (табл. 18.5).

Для определения среднемноголетних норм f -тех метеофакторов (\vec{X}_f^o) могут быть использованы методы и модели для долгосрочного прогнозирования метеорологических характеристик при наличии и отсутствии данных многолетних наблюдений по изучаемому объекту (см. пункты 18.4 и 18.5).

Обобщенные результаты расчета вегетационных значений основных метеорологических факторов (осадки, температура, дефицит и относительная влажность воздуха) и производных от них характеристик (ФАР, коэффициент влагообеспеченности) по расчетным годам по вариантам исследований («Base», «Transitional», «Recent», «СССМ», «УКМО») для условий Житомирского Полесья приведены в таблицах 18.6 и 18.7.

Согласно полученным результатам по сравнительной оценке изменений современных и прогнозируемых вегетационных значений основных метеорологических характеристик по расчетным годам и в среднем между ними в исследуемых условиях можно сделать следующие выводы:

– по осадкам: в переходных условиях («Transitional») по сравнению с базовым вариантом («Base») имеет место уменьшение количества осадков по всем рассматриваемым расчетным годам (от 0,47 % в сухой – 70 % до 17,9 % во влажный – 30 %), что в среднем составляет 5,30 %. В современных условиях («Recent») имеет место в целом некоторое увеличение осадков (при их изменении от – 2,80 % в очень влажный – 10 % к 11,87 % в очень сухой – 90 %), что в среднем составляет 4,07 %. Соответственно по прогнозным вариантам также возможно частичное увеличение осадков по всем расчетным годам, которое в среднем составляет для («СССМ») – 1,69 % и («УКМО») – 7,47 %;

– по температуре воздуха: во всех рассмотренных вариантах имеет место повышение температуры воздуха как по расчетным годам, так и в среднем – менее выраженное в современных условиях («Transitional») – 1,75 %, более выраженное в современных условиях («Recent») – 4,84 % и значительно увеличивается в прогнозируемых и по («СССМ») – 24,59 % и («УКМО») – 34,93 %;

– по дефициту влажности воздуха: характер изменения данного показателя аналогичен изменению температуры воздуха с некоторыми отклонениями по расчетным годам и в среднем: для («Transitional») – 0,83 %; («Recent») – 5,44 %; для «СССМ» увеличение составляет 22,8 %, а для «УКМО» – 27,19 %;

– по относительной влажности воздуха: соответственно в переходных условиях («Transitional») несколько возрастает на 0,83 % в среднем и уменьшается в современных условиях («Recent») на 2,09 %, а также по прогнозам «СССМ» – 2,09 %, а для «УКМО» – 6,9 %;

– по ФАР: характер изменения данного показателя согласуется с изменением температуры воздуха, но с несколько меньшей интенсивностью роста: для условий («Transitional») – 1,09 %; («Recent») – 3,03 %; «СССМ» – 15,98 %, «УКМО» – 22,57 %;

– по коэффициенту влагообеспеченности: характер и величина изменения количества осадков и дефицита влажности воздуха как по расчетным годам, так и в среднем обуславливают его некоторое снижение в переходных («Transitional») – 6,84 %, и менее выраженное снижение в современных условиях («Recent») – 1,14 %; но очень существенное снижение в прогнозируемых «СССМ» – 17,19 % и «УКМО» – 15,49 % условиях.

Сравнительная оценка динамики основных метеорологических характеристик вегетационного периода за 1991–2015 гг. с их ретроспективными и перспективными нормами для осадков, температуры, дефицита и относительной влажности воздуха приведена на рисунке 18.8.

Согласно ей могут быть выделены следующие характерные моменты:

– по осадкам: прослеживается значительная амплитуда их колебаний за рассматриваемый период от 200 до 600 мм при среднемноголетней норме 443 мм с четко выраженными максимумами в 1991, 1999 и 2008 гг. и минимумами в 1994, 2002, 2004 и 2015 гг. В последующие после 2008 года наблюдается устойчивое уменьшение количества осадков по всем рассматриваемым вариантам исследований. При этом прогнозируемые нормы по моделям «СССМ» и «УКМО» уже находятся в пределах современных колебаний суммарных вегетационных значений;

– по температуре воздуха: имеет место обратная картина, начиная с 1991 г. наблюдается повышение температуры воздуха с выраженными максимумами в 1999, 2002 и 2012 гг., которые составляют соответственно 15,1 °С, 15,0 °С и 15,3 °С. При этом среднегодовые температуры воздуха за рассматриваемый период времени не достигают прогнозируемых значений по моделям «СССМ» и «УКМО»;

– по дефициту влажности воздуха: динамика изменения дефицитов влажности воздуха в целом отражает характерные особенности изменения амплитуды колебаний температуры воздуха: дефицит влажности достигает первого и второго максимумов в 2002 и 2005 гг., которые составляют соответственно 1118 мм при их средневегетационном значении 5,30 мм и 1112 мм и 5,20 мм. После 2005 г. суммарные вегетационные значения дефицита влажности несколько снижаются и имеют незначительную амплитуду колебаний, а затем наблюдается резкое их повышение до третьего максимума в 2012 г. – соответственно 1193 и 5,60 мм. При этом величина дефицита влажности воздуха по модели «Base» меньше среднегодовых норм по моделям

«Transitional» и «Recent», а его соответствующие нормы по моделям «СССМ» и «УКМО» уже находятся в пределах их современных колебаний;

– по относительной влажности воздуха: наблюдается противоположная ситуация по динамике изменения относительной влажности воздуха, два первых максимума около 78 % имеют место в 1991 и 1998 гг., после них происходит резкое снижение ее до первого и второго минимумов около 68 % в 2005 и 2012 гг. При этом среднемноголетняя величина относительной влажности воздуха по модели «Base» выше среднегодовых норм по моделям «Transitional» и «Recent», а ее соответствующие нормы по моделям «СССМ» и «УКМО» находятся в пределах современных колебаний среднегодовых значений.

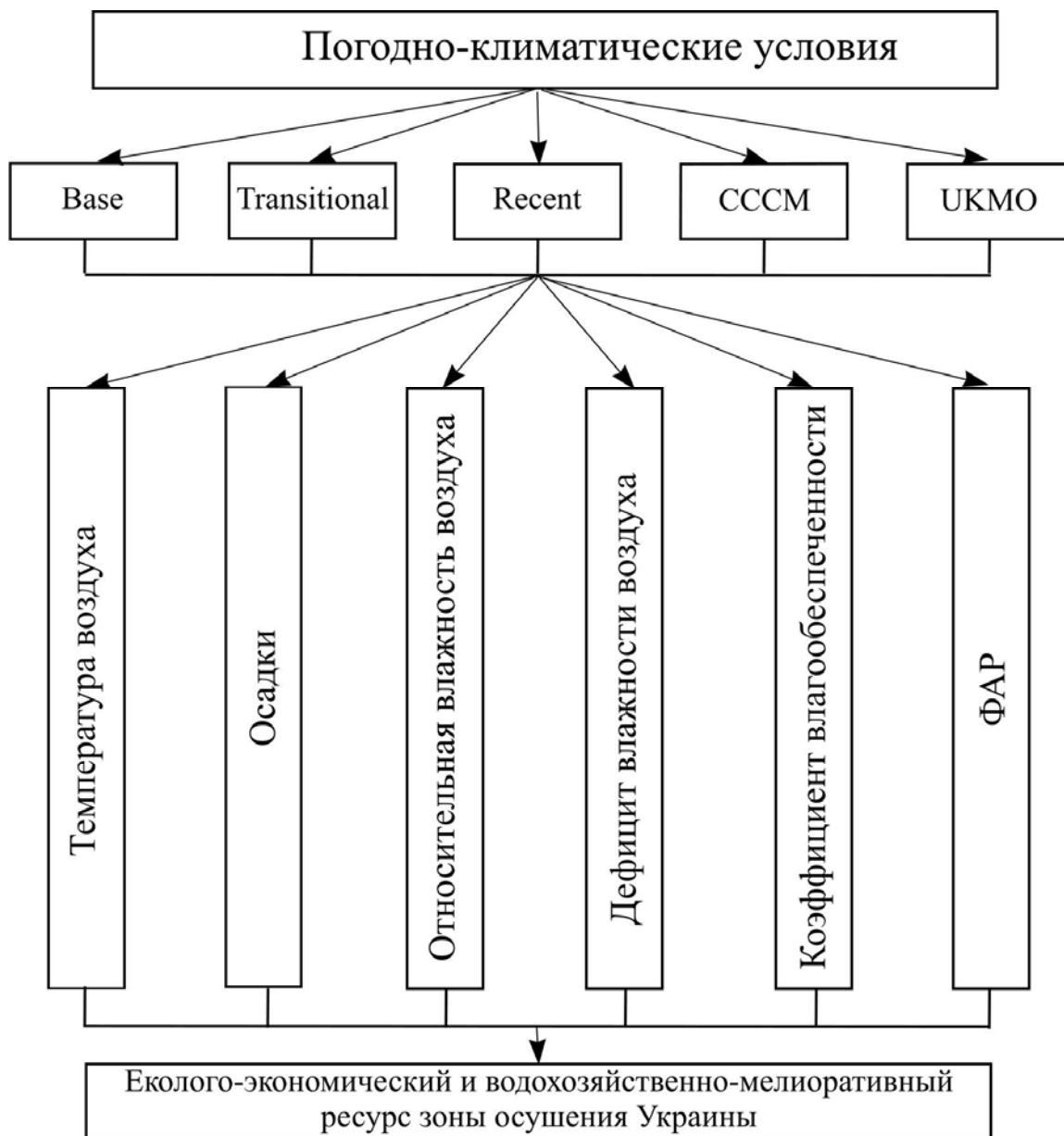


Рис. 18.7. Схема выполнения оценки погодно-климатических характеристик в ретроспективных («Base»), переходных («Transitional»), современных («Recent») и перспективных («CCCM», «UKMO») условиях

В целом прогнозируемые значения рассмотренных метеорологических характеристик по моделям «CCCM» и «UKMO» в зоне Житомирского Полесья, исключая температуры воздуха, уже находятся в пределах их современных колебаний и даже превышают их по отдельным показателям, что свидетельствует об устойчивой тенденции изменения климатических условий в данном регионе.

Полученные результаты сравнительной оценки формирования погодно-климатических условий в зоне Житомирского Полесья по вариантам их исследований свидетельствуют о том, что по всем основным метеорологическим показателям, исключая относительную влажность воздуха, прежде всего это касается температуры воздуха как определяющего фактора современных изменений климата, а также ФАР как ее производной, уже происходят изменения, которые в перспективе могут превышать 10%-ный критический экологический порог, по Н. Ф. Реймерсу [14], что приведет к соответствующим необратимым изменениям в экологическом состоянии окружающей среды зоны Полесья.

Установлено, что при имеющихся темпах и уровнях изменений погодно-климатических условий следует ожидать ухудшения природно-мелиоративных условий вообще как в зоне Житомирского Полесья, так и Украины в целом. Это неизбежно отразится на функционировании водохозяйственных объектов в результате соответствующих изменений эколого-экономического ресурса, что требует разработки адаптивных технических и режимно-технологических мероприятий по управлению этими

объектами через соответствующие комплексные научные отраслевые, государственные и межгосударственные исследования и программы.

Таблица 18.5

Прогнозные изменения величин среднемесячных и годовых температуры воздуха и атмосферных осадков для зоны Полесья по моделям «СССМ» и «УКМО» [13]

показатели, модели		месяцы												За год
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Температура (разница)	«СССМ»	6,93	6,96	7,88	4,86	3,08	3,10	3,25	2,80	3,28	2,82	3,28	2,55	4,22
	«УКМО»	7,47	9,33	9,17	9,57	4,38	3,30	2,69	3,57	3,93	5,49	5,63	7,15	5,95
Осадки (отношение)	«СССМ»	1,20	1,23	1,21	1,11	0,99	0,99	1,03	0,94	0,95	1,17	1,18	1,25	1,08
	«УКМО»	1,10	1,55	1,08	1,17	1,08	1,07	1,24	0,91	1,00	1,03	1,33	1,29	1,14

Таблица 18.6

Вегетационные значения основных метеорологических характеристик по вариантам исследований для условий Житомирского Полесья

Показатели, модели		Годы расчетной обеспеченности				
		10%	30%	50%	70%	90%
Сумма осадков (P, мм)	«Base»	575,12	509,06	443,01	376,96	310,90
	«Transitional»	544,38	471,93	434,86	375,20	307,90
	«Recent»	559,00	510,75	443,28	417,98	347,80
	«СССМ»	582,54	516,36	450,18	384,01	317,83
	«УКМО»	615,64	545,71	475,77	405,83	335,89
Средняя температура воздуха (T, C)	«Base»	12,68	13,06	13,47	13,67	14,19
	«Transitional»	12,92	13,33	13,75	13,80	14,44
	«Recent»	13,30	14,01	14,20	14,51	14,26
	«СССМ»	15,94	16,33	16,77	16,98	17,52
	«УКМО»	17,26	17,69	18,16	18,39	18,98
Сумма дефицита влажности воздуха (D, мм)	«Base»	698,0	785,0	849,0	943,0	1036,0
	«Transitional»	722,0	805,0	884,0	923,0	1044,0
	«Recent»	729,0	854,0	914,0	946,0	1098,0
	«СССМ»	866,0	973,4	1044,0	1150,0	1254,0
	«УКМО»	893,0	1005,0	1078,0	1207,0	1295,0
Средняя относительная влажность воздуха (H, %)	«Base»	80,56	77,73	75,26	72,07	69,42
	«Transitional»	81,76	78,66	73,94	73,02	70,73
	«Recent»	76,65	75,81	73,48	72,51	68,48
	«СССМ»	74,12	72,51	70,23	67,45	64,78
	«УКМО»	73,36	71,73	68,46	65,77	63,42
Сумма ФАР (МДж / м2)	«Base»	1586,0	1616,0	1646,0	1665,0	1705,0
	«Transitional»	1594,0	1634,0	1673,0	1680,0	1727,0
	«Recent»	1631,0	1691,0	1708,0	1729,0	1706,0
	«СССМ»	1845,0	1876,0	1911,0	1928,0	1971,0
	«УКМО»	1948,0	1982,0	2020,0	2038,0	2084,0
Коэффициент влагообеспеченности (KW)	«Base»	1,35	1,06	0,86	0,66	0,49
	«Transitional»	1,24	0,85	0,81	0,67	0,48
	«Recent»	1,26	0,98	0,80	0,72	0,52
	«СССМ»	1,10	0,87	0,71	0,55	0,42
	«УКМО»	1,13	0,89	0,72	0,55	0,43

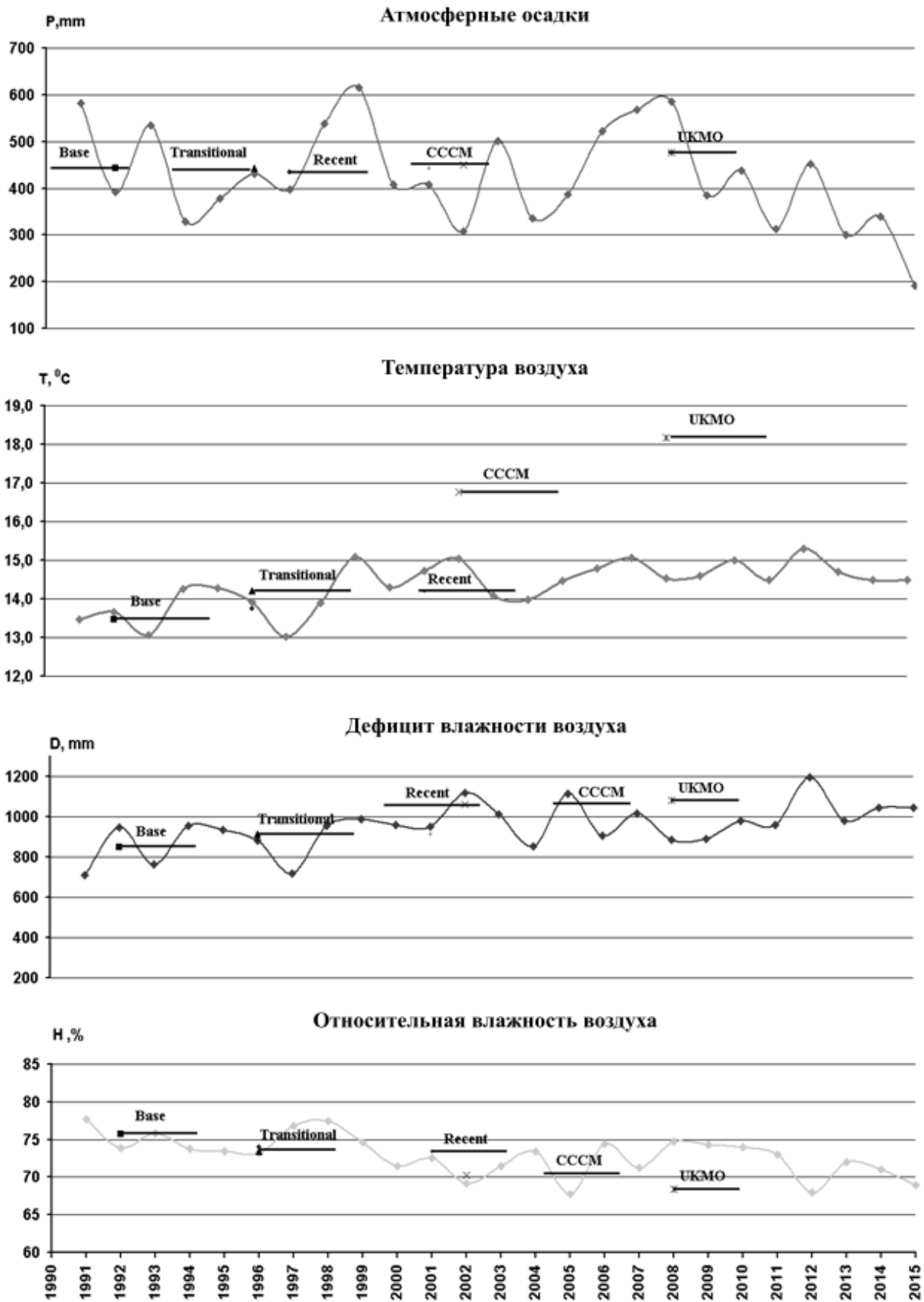


Рис. 18.8. Сравнительная оценка нормированных вегетационных значений основных метеорологических характеристик по вариантам исследований динамики их реальных значений в современных условиях для зоны Житомирского Полесья

Сравнительная оценка изменения вегетационных значений основных метеорологических характеристик по вариантам исследований для зоны Житомирского Полесья (%)

Показатели модели		Годы расчетной обеспеченности					Среднее, %
		10%	30%	50%	70%	90%	
Осадки, (P)	«Transitional»	-5,34	-17,90	-1,84	-0,47	-0,96	-5,30
	«Recent»	-2,80	0,33	0,06	10,88	11,87	+4,07
	«CCCM»	1,29	1,43	1,62	1,87	2,23	+1,69
	«UKMO»	7,05	7,20	7,39	7,66	8,04	+7,47
Температура воздуха, (T)	«Transitional»	1,89	2,07	2,08	0,95	1,76	1,75
	«Recent»	4,89	7,27	5,42	6,14	0,49	+4,84
	«CCCM»	25,71	25,04	24,50	24,21	23,47	+24,59
	«UKMO»	36,12	35,45	34,82	34,53	33,76	+34,93
Дефицит влажности воздуха, (D)	«Transitional»	3,44	2,55	4,12	-2,12	0,77	1,75
	«Recent»	4,44	8,79	7,66	0,32	5,98	+5,44
	«CCCM»	24,07	24,00	22,97	21,95	21,04	+22,81
	«UKMO»	27,94	28,03	26,97	28,00	25,00	+27,19
относительная влажность, (H)	«Transitional»	1,49	1,20	-1,75	1,32	1,89	+0,83
	«Recent»	-4,85	-2,47	-2,37	0,61	-1,35	-2,09
	«CCCM»	-7,99	-6,72	-6,68	-6,41	-6,68	-6,90
	«UKMO»	-8,94	-7,72	-9,04	-8,74	-8,64	-8,62
Сумма ФАР, (ФАР)	«Transitional»	0,50	1,11	1,64	0,90	1,29	+1,09
	«Recent»	2,84	4,64	3,77	3,84	0,06	+3,03
	«CCCM»	16,33	16,09	16,10	15,80	15,60	+15,98
	«UKMO»	22,82	22,65	22,72	22,40	22,23	+22,57
Коэффициент влагозабезпечености, (Kw)	«Transitional»	-8,49	-19,94	-5,73	1,69	-1,72	-6,84
	«Recent»	-6,94	-7,77	-7,05	10,53	5,55	-1,14
	«CCCM»	-18,36	-18,20	-17,36	-16,47	-15,54	-17,19
	«UKMO»	-16,33	-16,27	-15,42	-15,89	-13,57	-15,49

В связи с изложенным вопрос повышения эффективности функционирования водохозяйственных объектов следует нераздельно рассматривать с оценкой и прогнозом погодно-климатических условий как на современном этапе реализации климатической ситуации, так и в условиях возможных изменений климата как в ближайшей, так и отдаленной перспективе.

Литература

1. Андреев В. Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 524 с.
2. Бойченко С. Г., Волошук В. М., Дорошенко І.А. Глобальне потепління та його наслідки на території України // Український географічний журнал. – 2000. – № 2. – С. 59–68.
3. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 304 с.
4. Кашьяп Р. Л., Рао А. Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным : пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
5. Кеппен В. П. Основы климатологии : пер. с англ. – М.: Учпедгиз, 1938. – 375 с.
6. Климатология : учеб. для вузов по спец. «Метеорология» / О. А. Дроздов, В. А. Васильев, Н. В. Кобышева [и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
7. Костяков А. Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.

8. Литтл Т. М., Хиллз Ф. Дж. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ : пер. с англ. – М.: Колос, 1981. – 320 с.
9. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 248 с.
10. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем : посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи) / А. М. Рокочинський, Н. А. Фроленкова, В.А. Волощук [та ін.]. – Рівне, 2008. – 64 с.
11. Науково-методичні та організаційні засади управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним прогнозом : методичні рекомендації / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, Я. Я. Зубик [та ін.]. – Рівне, 2005. – 53 с.
12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3 : Многолетние данные. – Ч. 1–6. – Вып. 1: Украинская ССР. – Кн. 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 608 с.
13. Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату. Наукова доповідь-інформація / М. І. Ромащенко [та ін.]. – Київ: Інститут гідротехніки і меліорації УААН, 2003. – 46 с.
14. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
15. Рокочинский А. Н., Фроленкова Н. А., Савчук В. Т. Анализ и оценка возможных трансформаций природно-климатического и эколого-экономического ресурса ападного полесья Украины в условиях глобального потепления // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. 2. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – С. 316–321.
16. Рокочинський А., Волощук В. Оцінки можливих змін погодно-кліматичних умов та їхнього впливу на сектор енергетики Західного Полісся України // Проблеми екології енергії : зб. праць 5-ї міжнар. наук.-практ. конф. – Львів, 2008. – С. 135–139.
17. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромащенка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
18. Рокочинський А. М., Волощук В. А., Колодич О. Д. Оцінка можливих змін погодно-кліматичних умов та їхнього впливу на сектор енергетики Західного Полісся України // Енергетика та електрифікація. – 2008. – № 4. – С. 57–62.
19. Рокочинський А. Н., Савчук Т. В. Анализ и оценка возможных трансформаций природно-климатического потенциала осушаемых земель в условиях глобального потепления и их влияние на водные и земельные ресурсы // Повышение эффективности мелиораций и сельскохозяйственного использования мелиоративных земель : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 15–16 сент. 2009 г.) / РУП «Институт мелиорации». – Минск: Минфана, 2009. – С. 159–161.
20. Кліматичне забезпечення при проектуванні та експлуатації складних природно-технічних систем в сучасних умовах / А. М. Рокочинський, В. А. Волощук [та ін.] // Вісник національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. – Рівне, 2015. – Вип. 3 (71). – Ч. 1. – С. 352–358.
21. Оцінка впливу глобального потепління на природно-меліоративний режим зони Західного Полісся України / М. І. Ромащенко, А. М. Рокочинський, О. І. Галік [та ін.] // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. – Рівне, 2008. – Вип. 1 (41). – С. 148–157.
22. Савчук Т. В., Рокочинський А. М., Волощук В. А. Глобальне потепління та його можливий вплив на природно-ресурсний потенціал західного регіону України // Глобальні зміни клімату – загрози людству та механізми відвернення : наук. вісник НЛТУ України. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.15. – С. 161–171.
23. Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. – М.: Изд-во МСХ СССР, 1958. – С. 7–14.
24. Хандожко Л. А. Экономическая метеорология. – СПб.: Гидрометеоздат, 2005. – 491 с.
25. Шебеко В. Ф. Водохозяйственные расчёты при мелиорации переувлажненных земель. – Минск, 2000. – 320 с.
26. Шебеко В. Ф., Закржевский П. И., Брагилевская Э. А. Гидрологические расчёты при проектировании осушительных и осушительно-увлажнительных систем. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 312 с.
27. Шебеко В. Ф., Можеем И. И., Киселёва А. И. Методические указания и программы для ЭВМ по проектированию водного режима осушаемых земель на основе водобалансовых расчетов. – Минск, 1980. – 67 с.
28. Юдин М. И. Информационный подход к задаче оценивания гидрометеорологических прогнозов в категорической и вероятностной форме // Применение статистических методов в метеорологии. – М.: Гидрометеоздат, 1978. – С. 7–15.
29. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 135 с.

Глава 19. ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНОЙ УРОЖАЙНОСТИ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЕКТАХ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

19.1. Предпосылки и общие подходы к обоснованию урожайности

Известно, что земля является главным средством производства в сельском хозяйстве. Развитие каждого сельскохозяйственного предприятия и государства в целом зависит от того, насколько рационально и умело используется земля в виде получения с каждого гектара экологически безопасной продукции при наименьших капиталовложениях.

Стратегия современного земледелия заключается в наиболее полном и рациональном использовании природных ресурсов с одновременным обеспечением экологической безопасности выращивания сельскохозяйственных культур путем оптимизации внешних и внутренних условий. Наиболее действенными путями реализации этой цели являются мелиорация земель и управление процессами формирования урожая [1, 8, 31].

Одной из приоритетных задач водохозяйственно-мелиоративного комплекса Украины является восстановление функционирования экологически безопасных и экономически целесообразных мелиоративных систем (МС), в том числе в зоне Полесья, путем их комплексной реконструкции и технического перевооружения. Это возможно с помощью разработки новых подходов и прогрессивных технологий регулирования водного режима для создания благоприятных условий при выращивании сельскохозяйственных культур. Их урожайность является одним из главных показателей, отображающих эффективность реализации гидромелиораций.

От правильного прогноза урожайности выращиваемых культур во многом зависит уровень таких экономических категорий, как себестоимость, производительность работы, рентабельность и т. п. В масштабах каждого предприятия, сферой деятельности которого являются производство и сбыт сельскохозяйственной продукции, региона и государства в целом, урожайность играет важную роль и побуждает производителя оптимизировать ее с учетом современных экологических и экономических требований.

Процесс формирования урожая – это сложная совокупность физиологических явлений, интенсивность которых обусловлена не только природными факторами, антропогенной деятельностью и биологическими особенностями растений, но и их взаимосвязью.

Попытки оценить влияние природных и антропогенных факторов на урожайность выращиваемых культур осуществлялись неоднократно (Е. П. Галямин, Е. Е. Жуковский, М. К. Каюмов, А. Р. Константинов, Э. К. Михеев, В. С. Мошинский, А. Н. Полевой, Р. А. Полуектов, Ю. К. Росс, И. Т. Слюсар, А. А. Собко, Ю. О. Тарарико, Х. Г. Тооминг, Дж. Франс, Торнли и др.) [2, 6, 8, 9, 13, 15, 17, 21, 24, 37, 39 и др.]. Целью исследований было объяснить колебание урожайности, избрать форму хозяйствования, которая бы позволила так управлять факторами влияния на урожайность, чтобы можно было или повысить ее, или уменьшить удельные затраты на ее получение при условии минимизации отрицательных экологических последствий.

Описание динамики функционирования природных объектов основывается на представлении их системной организации. Поэтому методологической основой при исследовании процесса формирования урожая является системный подход, согласно которому любая природная система представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимозависящих элементов. При этом достигается возможность не только находить оптимальные технологические и технические решения (ТТР) по регулированию водного режима мелиорируемых земель с учетом взаимодействия факторов влияния на урожайность, но и обоснованно определять ее величину.

Инструментом реализации системного подхода является математическое моделирование, позволяющее в ряде случаев избегать трудоемких, длительных во времени и дорогостоящих натуральных экспериментов.

Моделям развития и формирования урожая принадлежит ключевая роль при обосновании ТТР по регулированию водного режима в проектах строительства, реконструкции и эксплуатации МС с учетом эколого-экономических аспектов. Актуальность разработки таких моделей на осушаемых землях Полесья Украины обусловлена тем, что, во-первых, главной задачей гидромелиораций является комплексное регулирование условий развития выращиваемых культур и, в первую очередь, водно-воздушного режима почвы. Во-вторых, урожай культур при этом выступает как один из важнейших критериев их эффективности и целесообразности.

Среди наиболее простых видов моделей формирования урожая можно выделить статические детерминированные модели в виде линейной регрессии [39]

$$y = \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + a_o, \quad i = \overline{1, n}, \quad (19.1)$$

где y – величина урожая в конце периода моделирования; x_i – средние значения факторов внешней среды за период моделирования; a_i – коэффициенты регрессии.

Достаточно простая форма представления зависимости урожая от средних за вегетацию значений факторов внешней среды предложена А. Н. Полевым [21]

$$y = A \prod_i (x_i^{b_i} \cdot e^{-c_i x_i}), \quad i = \overline{1, n}, \quad (19.2)$$

где b_i и c_i – константы; A – константа, преобразующая размерности аргументов.

В настоящее время разработаны методы оценки условий формирования и прогноза урожайности для многих культур [3, 6, 19, 21, 39 и др.].

Например, процесс формирования урожайности зерна кукурузы (Y_3) представлен как [3]

$$Y_3 = k_{zocn} \cdot \Phi_{ч.пр.} \cdot \Phi П, \quad (19.3)$$

где k_{zocn} – коэффициент хозяйственно-ценной части урожая; $\Phi_{ч.пр.}$ – чистая производительность фотосинтеза; $\Phi П$ – фотосинтетический потенциал (млн м² сутки).

Авторы утверждают, что урожай является также функцией погодных условий, влияние которых осуществляется через каждый из показателей модели.

Для озимой пшеницы разработана следующая модель урожайности [21]

$$y_{p_i} = (Y_{cm_i} + At_i) (1-p) \sum_{j=1}^n \eta_j (T_j, R_j) + \Delta, \quad (19.4)$$

где y_{p_i} – прогнозная урожайность на i -й год, ц/га; Y_{cm_i} – статистический максимум урожайности за текущий год, ц/га; $(1-p)$ – функция учитывающая влияние на урожайность плотности посева; $\eta_j (T_j, R_j)$ – коэффициенты учитывающие влияние на урожайность температуры воздуха T и осадков R в j -й межфазный период; n – количество межфазных периодов; Δ – ошибка расчета за счет неучтенных факторов.

Модель урожайности для картофеля имеет вид [21]

$$Y_{TR} = [Y_j S(T, R) - f] \cdot \prod_{k=1}^n (1 - \gamma_k), \quad (19.5)$$

где Y_{TR} – прогнозная урожайность, ц/га; Y_j – ежегодный статистический максимум урожайности, ц/га; $S(T, R)$ – суммарный коэффициент производительности по температуре воздуха T и осадкам R в течение вегетации; f – значение потерь урожая картофеля (ц/га) при повреждении фитофторой; γ_k – изменение урожайности за счет учета дополнительных факторов.

В ряде работ [3, 6, 7, 9, 21, 37, 39] установлено и обосновано, что урожайность выращиваемых культур тесно связана с такими показателями продуктивности, как плотность, наземная растительная масса, максимальная площадь листвы, фотосинтетический потенциал. По свидетельству авторов, наличие таких связей предоставляет возможность использовать указанные показатели в качестве прогнозных признаков при определении урожайности.

Широкое распространение приобрели подходы, основанные на построении моделей, отображающих влияние температуры воздуха и осадков на валовой сбор урожая. Например, характер влияния температуры воздуха на урожайность зерновых культур имеет вид [3]

$$y(T) = y_0 \cdot e^{-a \left(\frac{T-T_0}{10} \right)^2}, \quad (19.6)$$

где $y(T)$ – рассчитанная по температуре средняя урожайность; y_0 – начальное значение средней урожайности; T, T_0 – соответственно фактическая и оптимальная температура воздуха.

Также распространение приобрели модели, отображающие связь *урожай – водный режим* [2, 32]

$$Y = k_b \cdot Y^o, \quad (19.7)$$

Уровень точности и сложности реализации таких моделей зависит от структуры определения коэффициента k_b , который характеризует снижение потенциального урожая Y^o при отклонении

водного режима почвы от оптимального его значения. Характерным примером данной модели является модель, предложенная В. В. Шабановым и Ю. М. Никольским, которая позже была интерпретирована Е. П. Галяминым. По условию модели весь вегетационный период разбивается на ряд составляющих периодов (по фенологическим фазам или декадам). Коэффициент снижения урожая при условии формирования неблагоприятного водного режима за вегетацию определяется как средневзвешенная за расчетные промежутки времени $i, i = 1, n_i$ величина

$$k_B = \sum_{i=1}^{n_i} k_{B_i} \cdot \alpha_i, \quad (19.8)$$

где α_i – эмпирический коэффициент, отображающий чувствительность растений к отклонению водного режима от оптимального его значения за i -й промежуток времени.

Определяется k_{B_i} как функция снижения урожая при отклонении водного режима почвы от оптимального его значения

$$k_{B_i} = \left(\frac{\omega_i}{\omega_o} \right)^{\gamma \cdot \omega_o} \cdot \left(\frac{1 - \omega_i}{1 - \omega_o} \right)^{\gamma \cdot (1 - \omega_o)}, \quad (19.9)$$

где ω_i и ω_o – соответственно относительные значения фактической и оптимальной влажности корнеобитаемого слоя почвы, γ – эмпирический коэффициент, характеризующий степень саморегулирования растений в разные периоды их развития (зависит от вида культуры и фазы развития).

Таким образом, рассмотренные модели роста и развития сельскохозяйственных культур позволяют определять биомассу растений за вегетацию преимущественно в зависимости от влияния метеорологических условий. Однако в немногих из них произведена постановка, а тем более решение задачи относительно применения модели для практических целей. К таким моделям можно отнести, прежде всего, модели, разработанные Е. П. Галяминым для яровой пшеницы и кукурузы [2] с целью управления продукционным процессом.

Кроме рассмотренных подходов, широкого распространения приобрел метод программирования урожая выращиваемых культур. Он предусматривает разработку и внедрение комплекса взаимосвязанных мероприятий, которые позволят обеспечить выращивание урожая заданного уровня с высоким качеством продукции при сохранении или улучшении экологической ситуации [9, 27, 41].

Программирование появилось в связи с применением расчетных методов при разработке и выполнении многих агрометеорологических и агротехнических мероприятий. Оно предусматривает разработку программы, т. е. оптимального количественного соотношения управляемых факторов с учетом неуправляемых погодных условий, которые в системе технологического процесса обеспечивают получение планового урожая при наиболее бережном использовании наличных ресурсов.

Одним из основателей этого метода является академик И. С. Шатилов, который сформулировал следующие принципы программирования урожайности [41]:

- определение урожая по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) и коэффициенту ее использования посевами (КПД ФАР);
- определение урожая по тепловым ресурсам;
- учет водного баланса растений и определение возможной величины урожая по влагообеспеченности посевов за период вегетации;
- определение урожая по фотосинтетическому потенциалу;
- выявление потенциальных возможностей культуры и ее сорта;
- определение возможного урожая по эффективному плодородию почвы и разработке системы удобрений на основании учета запаса питательных веществ в почве;
- разработка комплекса агротехнических мероприятий и сортовой агротехники;
- исключение отрицательного влияния вредителей и болезней на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур;
- правильное применение основных законов земледелия и растениеводства;
- наличие соответствующих экспериментальных данных, широкого использования математического аппарата и ЭВМ позволяет определить оптимальный вариант комплекса мероприятий по получению запрограммированного урожая.

Этот метод предусматривает количественную и качественную оценки агрометеорологических условий региона, возможностей МС по регулированию водно-воздушного режима и достижение оп-

тимальной влагообеспеченности растений, исходного эффективного плодородия почв в конкретных хозяйствах, реальных ресурсов органических и минеральных удобрений, своевременного выполнения технологических приемов по выращиванию культур. Целью программированного выращивания культур является достижение проектной урожайности. В его практике определение урожайности осуществляется по выражению [41]

$$Y_{np} = \frac{2,2 \cdot ГТП - 1,0}{(1 - W/100) \cdot a} \cdot \left(\frac{B}{100} \right)^m, \quad \text{ц/га} \quad (19.10)$$

где $ГТП$ – среднееголетнее значение гидротермического показателя; B – бонитет почвы (в баллах), который определяется по бонитировочной шкале в соответствии с характеристиками почвы и видом культуры; m – эмпирический коэффициент, определяющий влияние бонитета на урожайность; W – стандартная влажность товарной продукции, %; a – сумма частей отношения полезной продукции к побочной в общем урожае биомассы.

Специфическим показателем на мелиорируемых землях является проектная урожайность, т. е. такой ее уровень, который в соответствии с работами А. А. Собко и др. [25, 27] должен быть достигнут с учетом ресурсного обеспечения хозяйств, способов регулирования водного режима почвы, уровня агротехники и сортов выращиваемых культур. При ее определении применяют преимущественно простые математические модели в виде алгебраических уравнений, иногда эмпирические модели, большинство из которых основывается на общеизвестных выражениях методики программирования урожая вида [41]

$$Y_{II} = K_1 K_2 \dots K_n \left(B_c C_\sigma + \sum_{s=1}^n k_i O_i H_i \right), \quad \text{ц/га} \quad (19.11)$$

где B_c – средневзвешенный балл почвы; C_σ – урожайная цена балла, кг/га; O_i – окупаемость i -го вида удобрений прибавкой урожая, ц/га; H_i – норма i -го вида удобрений прибавкой урожая, кг/га; k_i – поправочный коэффициент на степень использования i -го вида удобрений; K_1, K_2, \dots, K_n – поправочные коэффициенты на способы регулирования водного режима.

Еще одним подходом к определению проектной урожайности является [9]

$$Y_{II} = \frac{Y_{ep} + O_{мд} \cdot H_{мд} + O_{од} \cdot H_{од}}{100}, \quad \text{т/га} \quad (19.12)$$

где Y_{ep} – урожайность культур, которой можно достичь за счет эффективного плодородия, ц/га; $O_{мд}$ – оплата 1 кг минеральных удобрений (N, P, K) приростом урожая, ц/га; $O_{од}$ – оплата 1 т органических удобрений приростом урожая, ц/га; $H_{мд}, H_{од}$ – нормы соответственно минеральных и органических удобрений.

Не вызывает сомнения тот факт, что при обосновании оптимальных проектных решений по регулированию водного режима осушаемых земель установление проектной урожайности культур абсолютно необходимо [31, 32]. Известно, что величина проектной урожайности зависит от особенностей культуры и условий ее природного увлажнения, с одной стороны, и соотношением очень многих факторов – с другой. При этом в любом случае установление математической зависимости урожайности культуры от уровня обеспечения влагой при существующем или возможном соотношении других факторов обязательно.

Характерной особенностью рассмотренных подходов является то, что они позволяют учитывать влияние преимущественно одного или нескольких факторов на урожайность выращиваемых культур, не отображая при этом реальные условия формирования урожая на осушаемых землях при условии совокупного действия природных, агротехнических и мелиоративных факторов. Кроме того, некоторые из них содержат эмпирические коэффициенты без возможности их практического определения. Поэтому подавляющее большинство рассмотренных подходов теряет свою ценность в процессе их практической реализации в производственных условиях, особенно на стадии рассмотрения и принятия проектных решений по строительству, реконструкции или эксплуатации МС.

Наличные оценки современного состояния мелиораций свидетельствуют о тесной связи между проведением мелиоративного производства на эколого-экономических основах с оптимизацией мелиоративного режима земель, который определяет общий эколого-экономический эффект и заключается в получении постоянных, экономически обоснованных и экологически безопасных урожаев сельскохозяйственных культур [32].

В сложных природно-технических системах (ПТС) прослеживается структурная связь вида *режим – технология – конструкция*, поэтому определение урожайности на мелиорируемых землях в

многолетнем разрезе может осуществляться с учетом взаимосвязи технологических (способ, режим, схема) и технических (тип, конструкция, параметры и т. п.) решений по регулированию водного режима земель.

Поскольку получение урожая связано с водопотреблением растений и водным режимом почвы, необходимо осуществлять прогноз и оценку поведения ПТС вида *агробиоценоз – МС – окружающая среда* [32].

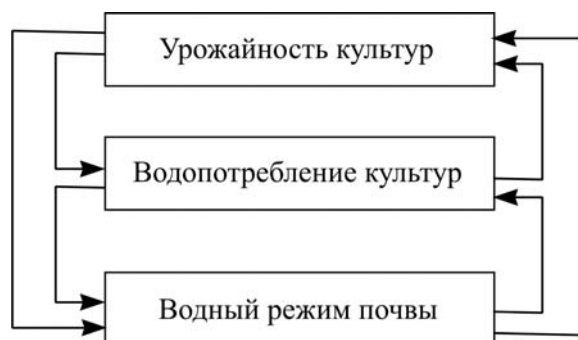


Рис. 19.1. Структурное соотношение между урожаем, водопотреблением культур и водным режимом мелиорируемой почвы

Окончательный выбор способов, схем, режимов регулирования водного режима и связанных с ними типов, конструкций, параметров и схем работы МС может быть осуществлен только на основании рассмотрения и технико-экономического обоснования (ТЕО) возможных альтернативных вариантов ТТР по реальному объекту с помощью инженерных прогнозно-оптимизационных расчетов, которые выполняются при наличии соответствующих моделей. Неотъемлемой составляющей таких моделей выступает модель урожайности выращиваемых культур.

Таким образом, рассмотренные особенности и необходимость в планировании управленческих решений при строительстве, реконструкции и эксплуатации МС, в том числе в зоне Полесья, определяют необходимость создания расчетных схем, которые позволят прогнозировать урожайность в конкретных природных, агротехнических и мелиоративных условиях. Определяющей составляющей таких схем должна быть модель развития посева, которая бы предоставила возможность с необходимой степенью детализации на основании анализа текущих условий и их прогноза предусматривать поведение растения на разных стадиях его развития.

Следовательно, необходима разработка подхода, который заключается в создании соответствующего метода и методики его реализации по обоснованию проектной урожайности выращиваемых культур.

19.2. Модель проектной урожайности

Проекты строительства (реконструкции) МС предусматривают их функционирование в заданных климатических, агротехнических, почвенных и мелиоративных условиях, поэтому под проектной урожайностью следует понимать средневзвешенную величину расчетной действительно возможной урожайности выращиваемых культур с учетом изменчивых во времени и пространстве условий МС в пределах проектного срока ее функционирования.

Структуру модели по обоснованию проектной урожайности на осушаемых землях необходимо создавать таким образом, чтобы она учитывала влияние на урожайность культур в течение проектного срока функционирования МС основных факторов как средневзвешенных во времени и пространстве величин соответствующих показателей. Такими показателями выступают: метеостанции $\Omega = \{\omega\}, \omega = \overline{1, n_\omega}$; почвы $G = \{g\}, g = \overline{1, n_g}$; культуры $K = \{k\}, k = \overline{1, n_k}$; способы регулирования водного режима $S = \{s\}, s = \overline{1, n_s}$, расчетные по условиям тепло- и влагообеспеченности периоды вегетации $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p}$ и т. д.

За основу, благодаря своей универсальности, может быть принят подход Е. Е. Жуковского [7]. На его основании любая метеоролого-экономическая система в общем случае описывается матрицей размерностью $n_i \times n_p$. Ее элементы, в виде «функций полезности» $u_{ip} = u(I, P), i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}$, характеризуют экономический критерий U , отвечающий парам значений (I, P) , когда принятые проектные решения совокупности $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$ реализуются при определенных типичных схемах ме-

теорологических условий совокупности $P = \{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$. Эти совокупности характеризуются известными (определенными или заданными) значениями частей α_p возможного состояния типичных схем метеорологических режимов по условиям тепло- и влагообеспеченности периода вегетации в пределах проектного срока функционирования МС, приведенного к единице.

Поэтому модель проектной урожайности \bar{Y}_k может быть представлена как

$$\bar{Y}_k = \sum_{\omega=1}^{n_\omega} \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{p=1}^{n_p} Y_{k\omega gsp} \cdot f_\omega \cdot f_g \cdot \alpha_p, \quad \text{ц/га}, \quad (19.13)$$

где $Y_{k\omega gsp}$ – расчетная величина действительно возможной урожайности k -й культуры в соответствующих климатических ω , почвенных g , мелиоративных (технология регулирования водного режима) s условиях и периодов вегетации по условиям тепло- и влагообеспеченности p ; f_ω, f_g – площади распространения соответственно природно-климатических и почвенных отличий в пределах объекта, выраженные в долевых частицах от общей его территории.

В случае, когда $\omega = const$, $g = const$, выражение (19.10) приобретает вид

$$\bar{Y}_k = \sum_{p=1}^{n_p} Y_{k\omega gsp} \cdot \alpha_p, \quad \text{ц/га}. \quad (19.14)$$

Для реализации данных моделей необходимо определение величины действительно возможной урожайности $Y_{k\omega gsp}$, отображающей влияние факторов жизнедеятельности на развитие растений от совокупности факторов влияния на мелиорируемых землях.

19.3. Общая модель действительно возможной урожайности

Из практики сельскохозяйственного производства известно, что нормальный рост и развитие растений обеспечивается в основном влиянием 5 определяющих факторов: света, тепла, воздуха, воды и питательных веществ. Эти компоненты внешней среды являются взаимосвязанными и незаменимыми, на протяжении всех фаз вегетации они должны быть доступны для растений в необходимом состоянии и оптимальном количестве. При этом оптимальное обеспечение растений факторами жизнедеятельности происходит по-разному: часть компонентов (вода, воздух и питательные вещества) могут регулироваться в зависимости от их соотношения, другие компоненты (тепло) регулируются лишь частично, третьи (свет) практически не подлежат регулированию в природных условиях. Количественные характеристики жизненно необходимых компонентов для развития разных культур зависят от географического размещения территории и характерных для нее природных условий. При этом нормальный рост и развитие культур, получение стабильных урожаев обеспечивается лишь при условии благоприятного для растения соотношения водно-воздушного, теплового и питательного режимов.

Сегодня для мелиорируемых земель распространение получили модели вида (19.7). Кроме этого, по аналогии с предложениями Е. П. Галямина [2], Р. О. Полуэктова [23, 24] и других при построении модели урожайности необходимо исходить из основных положений моделирования агробиоценозов. Они касаются принятия блочной структуры модели, блоки которой связаны и отвечают основным процессам, которые происходят в системе *почва – растение – воздух* под действием внешних факторов влияния.

Создание усовершенствованного подхода по обоснованию урожайности для стадии проектов строительства, реконструкции и эксплуатации МС должно основываться на положениях принципов программирования урожайности культур, которые предусматривают рассмотрение как внутренних, так и внешних факторов влияния на ее формирование.

Известно, что к внутренним факторам относят биологические особенности, возможности культуры (сорта) и уровень агротехники. Последний показатель, в свою очередь, определяется такими факторами, как возделывание почвы, густота посева, сроки сева, формы, дозы и соотношение удобрений, способы ухода за посевами и т. п. При этом эффективность технологии выращивания тем выше, чем лучше будет обеспечена культура внешними факторами. Достаточность и оптимальность каждого из этих факторов определяется по установленным и общеизвестным закономерностям, которые формулируются как законы земледелия.

Понятие обеспеченности конкретной культуры внешними факторами впервые введена академиком И. С. Шатиловым [41] из условия сформулированных им принципов программирования урожайности и в дальнейшем была развита во многих работах [2, 3, 7, 9, 10 19–22, 37]. При этом обеспе-

ченность ресурсами этих факторов определяется прежде всего природно-климатическими условиями зоны и периодом вегетации культуры. Однако только обеспеченность не может быть достаточным критерием оценки, поскольку для этого необходимо установление соответствия ресурса того или другого фактора требованиям культуры. Интегральным показателем согласования наличных ресурсов является установление ресурсообеспеченной урожайности культуры для соответствующей зоны ее выращивания.

Таковыми урожаями являются потенциальный и климатически обеспеченный. Уровень обеспеченности культуры внешними факторами целесообразно определять возможными урожаями, которые могут быть сформированы за счет наличных ресурсов. Известно, что ресурсное обеспечение по годам характеризуется довольно значительными колебаниями, которые соответственно обуславливают и колебание ресурсных урожаев. Это, в свою очередь, объясняет необходимость рассматривать все уровни урожая во всем возможном диапазоне изменения ресурса и оценивать этот урожай как вероятностный [9].

Подходы к определению урожайности, в том числе на мелиорируемых землях, которые отображены в многочисленных моделях, основываются на общеизвестном и общепризнанном методологическом подходе к рассмотрению основных категорий продуктивности культур (эталонных урожаев) по Х. Г. Тоомиунгу [37] (рис. 19.2).

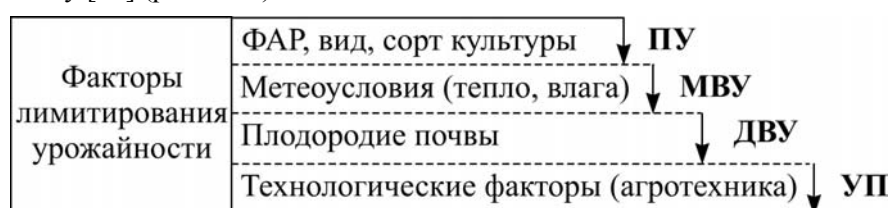


Рис. 19.2. Основные категории урожайности (эталонные урожаи) по Х. Г. Тоомиунгу

Основными категориями урожайности являются следующие:

- потенциальная урожайность (*ПУ*) – урожайность, которая может быть получена в конкретных природных условиях и ограничивается поступлением солнечной радиации, продолжительностью вегетации и биологическими особенностями культуры;
- метеорологически возможная урожайность (*МВУ*) – характеризует продуктивность посева, которая может быть достигнута в оптимальных почвенных условиях при реальной погоде;
- действительно возможная урожайность (*ДВУ*) – максимальная урожайность, которая может быть получена на конкретном поле в реальных метеорологических и почвенных условиях;
- урожайность в производстве (*УП*) – фактическая урожайность при действующем уровне агротехники.

В соответствии с изложенным *ПУ*, *МВУ* и *ДВУ* – теоретические показатели, значения которых могут быть получены лишь расчетным путем [37]. Что касается *УП*, то это как теоретическая (расчетная или ожидаемая), так и реальная величина урожайности, которую можно получить в производственных условиях. Этот подход, отображая объективно процесс формирования урожайности в целом, содержит неопределенность практической его реализации на стадии разработки проектов строительства, реконструкции и эксплуатации МС.

На основании выполненных теоретических исследований нами предложен усовершенствованный подход к решению задачи, аналогичный подходу Х. Г. Тоомиунга (рис. 19.3). При этом, изменяя структуру решения задачи, он сохраняет полное соответствие рассмотренных категорий урожайности по Х. Г. Тоомиунгу. Категориями урожайности, которыми мы оперируем и которые определяют сущность предложенной схемы, являются следующие:

КОУ – климатически обеспеченная урожайность, характеризующая продуктивность посева в оптимальных почвенных условиях при реальных значениях величины ФАР относительно метеорологических режимов (по температуре и осадкам) в пределах, определенных по оптимальным срокам вегетации выращиваемой культуры (посев – уборка) и типичными (расчетными по тепло- и влагообеспеченности) схемами погодных условий (отвечает *ММУ* по Х. Г. Тоомиунгу);

БОУ – урожайность, которая обеспечена природным бонитетом почвы и может быть получена по реализации *КОУ* на конкретном поле в присущих ему почвенных условиях, природное плодородие которых оценено по методикам бонитировки почв гумидной зоны (отвечает *ДВУ* по Х. Г. Тоомиунгу);

АОУ – агротехнически обеспеченная урожайность, получаемая при реализации *БОУ* с учетом внесения необходимого количества минеральных и органических удобрений, определенных по наличным методикам программирования урожая;

ТОУ (УП) – технологически обеспеченная урожайность, которая может быть получена при реализации *АОУ* с учетом метеорологического режима (осадки, испарение, температура и т. п.) в пределах расчетной схемы погодных условий, уровня агротехники производства (посев, технология выращивания, уборка) и соответствующей технологии регулирования водного режима осушаемых земель за вегетацию культуры (отвечает *УП* по Х. Г. Тоомингу).



Рис. 19.3. Основные категории урожайности на осушаемых землях и их соответствие эталонным урожаям

С учетом усовершенствованных категорий и характера процесса формирования урожая на осушаемых землях модель действительно возможной урожайности может быть представлена в виде комплексной модели мультипликативного типа как произведение потенциально возможного ее значения на функции влияния на нее факторов развития

$$Y_{k\text{огсп}} = Y_{\text{окр}}^F \cdot \prod_{i=1}^{n_i} K_i = Y_{\text{окр}}^F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad \text{ц/га}, \quad (19.15)$$

где $Y_{\text{окр}}^F$ – климатически обеспеченная урожайность за вегетацию k -й культуры; K_1 – коэффициент снижения урожайности по бонитету почвы ($0 \leq K_1 \leq 1$); K_2 – коэффициент увеличения урожайности по внесенным удобрениям, ($K_2 > 1$, но $0 < K_1 \times K_2 \leq 1$); K_3 – коэффициент снижения урожайности при отклонении срока сева (возобновления вегетации) от оптимального ($0 \leq K_3 \leq 1$); K_4 – коэффициент влияния природно-мелиоративных условий (климата и технологий регулирования водного режима) периода вегетации культуры на формирование урожайности ($0 \leq K_4 \leq 1$); K_5 – коэффициент снижения урожайности при отклонении срока уборки от оптимального ($0 \leq K_5 \leq 1$); K_6 – коэффициент уменьшения урожайности за счет потерь при уборке и транспортировке ($0 < K_6 \leq 1$).

Все составляющие общей модели действительно возможной урожайности модели являются изменчивыми и зависят от многих факторов, основные из которых – это природно-климатические, почвенные, мелиоративные, агротехнические условия объекта. Определение значений составляющих данной модели достигается только через решение сложной задачи на основе применения методов математического моделирования с использованием ЭВМ. Такой подход основывается на комплексе имитационных моделей долгосрочного прогноза метеорологических режимов по условиям тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации, водного режима осушаемых земель и технологий его регулирования [26, 36].

19.4. Модель потенциально возможной урожайности

Разработка модели потенциальной урожайности обусловлена необходимостью осуществить оценку урожайности сельскохозяйственных культур в конкретных природных условиях объекта с учетом агротехнических и технологических мероприятий.

Согласно структуре построения общей модели урожайности модель потенциально возможного ее значения может быть построена аналогичным образом на основании субмоделей климатически и агротехнически обеспеченной урожайности.

19.4.1. Определение климатически обеспеченной урожайности. Климатически обеспеченная урожайность представляет собой максимально возможный уровень урожайности в конкретных природно-климатических условиях региона, где расположен объект, и характеризуется прежде всего

климатическими условиями периода вегетации культуры. Основной из них является приход фотосинтетически активной радиации (ФАР) и уровень ее использования растениями, которое традиционно определяется соответствующим значением коэффициента полезного действия (КПД).

Величина климатически обеспеченной урожайности $Y_{окр}^F$ может быть определена по математической модели в структуре общепринятого метода программирования урожайности [9]

$$Y_{окр}^F = 10^4 \cdot \eta_k \cdot a_k \cdot \frac{Q_{кр}}{q_k}, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad \text{ц/га}, \quad (19.16)$$

где 10^4 – переводной коэффициент; η_k – КПД ФАР культуры при конкретных метеорологических условиях, %; a_k – коэффициент хозяйственной эффективности урожая; $Q_{кр}$ – суммарный за вегетацию приход ФАР, кДж/см²; q_k – калорийность урожая, кДж/кг.

Поскольку в выражении (19.16) переменной величиной являются периоды вегетации совокупности $\{P\}$, $p = \overline{1, n_p}$, то для его решения необходимо:

1. Наличие обобщенной характеристики метеорологических режимов исследуемого объекта в виде типового распределения основных метеофакторов (осадков, температуры, дефицита влажности воздуха) в расчетные по влагообеспеченности периоды вегетации.

Распределение средневегетационных норм метеофакторов в декадном разрезе за расчетный период вегетации осуществляется по выражению [26]

$$\bar{x}_{fp} = a_{1fp} + a_{2fp} \cdot U_1 + a_{3fp} \cdot U_2 + a_{4fp} \cdot U_3 + a_{5fp} \cdot U_4, \quad f = \overline{1, n_f}, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (19.17)$$

где \bar{x}_{fp} – вектор распределения средневегетационных норм метеофакторов; $a_1 \dots a_5$ – коэффициенты кривых Фурье 2-го порядка; τ – порядковый номер расчетного интервала времени;

$$U_1 = \cos C \cdot \tau; U_2 = \sin C \cdot \tau; U_3 = \cos 2C \cdot \tau; U_4 = \sin 2C \cdot \tau.$$

2. Определить сроки продолжительности вегетации для культур в расчетные периоды совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$. Для этого может быть применена модель развития культур, представленная в общем виде как очередность соответствующих фаз φ_m , $m = \overline{1, n_\varphi}$ совокупности $\{\varphi\}$, $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$

$$\varphi_m = \varphi_0 + \left(\sum_{\varphi=1}^{m-1} \eta_\varphi + \eta_m \right), \quad m = \overline{1, n_\varphi}, \quad (19.18)$$

где φ_0 – начальная фаза, соответствующая сроку сева (возобновления вегетации) культуры ($\varphi_0 = \underline{\tau}_k$); η_φ (η_m) – продолжительность отдельных фенофаз, которая определяется по нормированным значениям постоянных сумм положительных температур воздуха для прохождения культурой соответствующих межфазных периодов.

При этом срок начала вегетации $\underline{\tau}_k$ в пределах общего расчетного периода k -й культуры может быть определен

$$\underline{\tau}_k = \tau_{\varphi_0 k} = f^{-1} \cdot (\underline{\tau}_{\varphi_0 k}), \quad (19.19)$$

где $\underline{\tau}_{\varphi_0 k}$ – нормированное значение нижнего температурного предела начала развития k -й культуры (биологический минимум).

Соответственно срок окончания вегетации $\bar{\tau}_k$, определяется как

$$\bar{\tau}_k = \underline{\tau}_k + \sum_{\varphi=1}^{n_\varphi} T_{\varphi k}. \quad (19.20)$$

3. Определить суммарный за вегетацию приход ФАР для k -й культуры в p -й расчетный период по выражению

$$Q_{кр} = (Q_{кр}^{III-VII} + Q_{кр}^{VIII-X}) \cdot K_p^I, \quad k = const, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad \tau = \overline{\underline{\tau}, \bar{\tau}}, \quad (19.21)$$

где $Q_{kp}^{III-VII}$ и Q_{kp}^{VIII-X} – приход ФАР за τ -ю декаду соответствующих периодов *март – июль* и *август – октябрь* в пределах p -го вегетационного периода k -й культуры, кДж/см²

$$\begin{cases} Q_{kp}^{III-VII} = 0,279 \cdot \bar{T}_{p\tau}^{III-VII} + 5,478, \tau = \bar{1}, n_{\tau}; \\ Q_{kp}^{VIII-X} = 0,441 \cdot \bar{T}_{p\tau}^{VIII-X} + 0,754, \tau = \bar{1}, n_{\tau}, \end{cases} \quad (19.22)$$

$\bar{T}_{p\tau}$ – среднедекадная температура воздуха за τ -ю декаду p -го расчетного периода вегетации; K_p^I – поправочный коэффициент перерасчета по светообеспеченности p -го расчетного периода вегетации

$$K_p^I = \frac{P}{P_p}, \quad (19.23)$$

где P – среднегодовое количество осадков за p -й расчетный период вегетации; P_p – количество осадков в p -й характерный по увлажнению период вегетации.

В выражении (19.16) ключевым параметром является КПД ФАР культуры η_{kg} . По разным данным этот параметр изменяется в пределах 1...10 %, при этом изменение его значений на 1 % может приводить к изменению урожайности в несколько раз [37]. Поэтому в условиях решения задачи на стадии проекта необходимо ориентироваться на потенциально возможные значения КПД ФАР $\bar{\eta}_{kg}$ по аналогии со структурой построения общей модели урожайности.

Таким образом, имеющиеся в литературе отдельные или очень обобщенные данные по показателю КПД ФАР не могут использоваться в прогнозно-имитационных расчетах по определению проектной урожайности на осушаемых землях, поскольку не отображают изменчивость природных, агротехнических и мелиоративных условий МС. Поэтому в первом приближении возможно рассматривать изменение теоретических потенциально возможных значений КПД ФАР $\bar{\eta}$ в зависимости от показателя общего плодородия мелиорируемых земель R_g , который выражается в баллах по аналогии с бонитетом почвы (рис. 19.4).

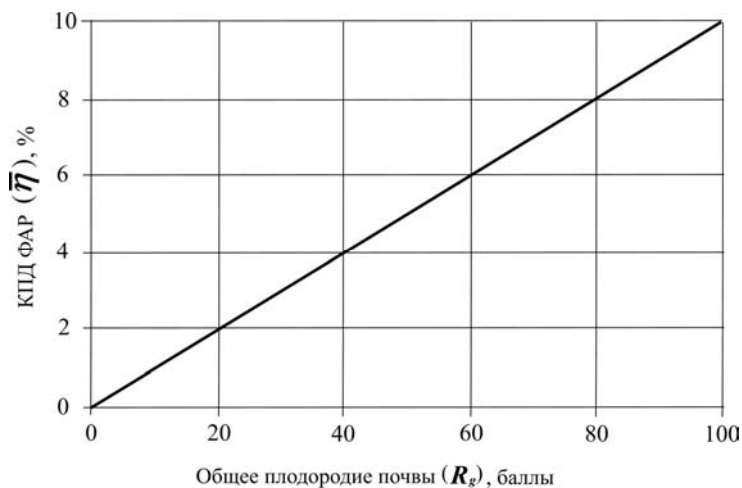


Рис. 19.4. Обобщенная зависимость использования ФАР растениями от общего плодородия почвы

Эта зависимость, с одной стороны, отвечает современным представлениям об эффективности использования растениями ФАР в процессе развития посевов, но с другой – является абсолютно безотносительной в конкретных условиях функционирования МС. Поэтому в дальнейшем главным заданием является обоснование и определение потенциальных значений КПД ФАР в заданных условиях МС. Теоретической основой решения данного задания выступает сопоставление разных уровней потребности растений в ФАР и тепловых ресурсах с их реальными ресурсами в условиях исследуемого объекта.

Потенциальные значения КПД ФАР могут быть установлены методом подбора по результатам проведения эксперимента на ЭВМ на основании сравнения потенциально возможных значений КПД ФАР $\bar{\eta}_{kg}$ и соответствующих отношений агротехнически обеспеченной урожайности культуры Y_{okgp}^A к

климатически обеспеченной $Y_{окр}^F$. Характер такой связи хорошо согласовывается с экспоненциальной кривой (рис. 19.5) и описывается выражением

$$\beta_{AF}^Y = a \cdot e^{-b \cdot \bar{\eta}_{kg}}, \quad (19.24)$$

где β_{AF}^Y – отношение агротехнически обеспеченной урожайности к климатически обеспеченной в заданных условиях ($Y_{окгр}^A / Y_{окр}^F$); a, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от природных, агротехнических и мелиоративных условий выращивания культуры.

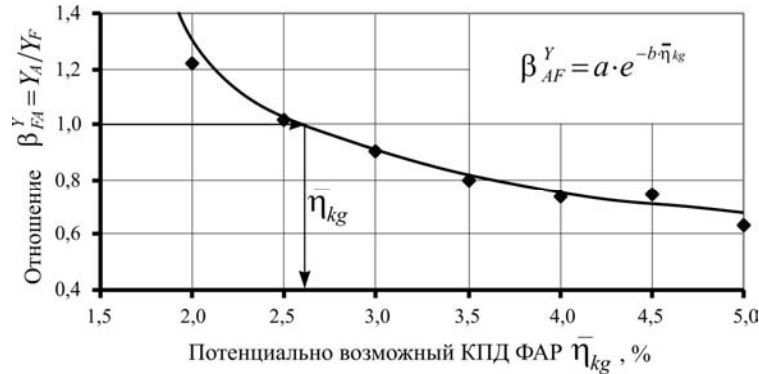


Рис. 10.5. Определение потенциально возможного КПД ФАР $\bar{\eta}_{kg}$ по результатам эксперимента на ЭВМ

При наличии необходимых данных такая кривая может быть построена для любых районированных культур на осушаемых землях, которые входят в проектные севообороты, с учетом конкретных условий ее выращивания. При этом эмпирические коэффициенты a и b будут принимать соответствующие значения в каждом конкретном случае.

Наличие такой зависимости предопределяет возможность определения потенциального значения КПД ФАР $\bar{\eta}_{kg}$ через решение обратной зависимости вида

$$\bar{\eta}_{kg} = f^{-1} \cdot (\beta_{AF}^Y), \quad (19.25)$$

при условии, когда значение отношения $\beta_{AF}^Y = 1$.

Справедливость данного утверждения основывается на том, что величина климатически обеспеченной урожайности $Y_{окр}^F$ является максимально возможной в конкретных условиях и не может быть превышена при применении агротехнических мероприятий, прежде всего внесения удобрений, а потому фактически является ограничением для агротехнически обеспеченной урожайности $Y_{окгр}^A$ (должно быть соблюдено условие)

$$Y_{окгр}^A \leq Y_{окр}^F. \quad (19.26)$$

Следует отметить, что полученные по условиям проведения эксперимента на ЭВМ расчетные значения β_{AF}^Y во многих случаях находятся практически в пределах некоторого отклонения ε от 1 относительно разных по условиям тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации для определенной культуры независимо от разных технологий регулирования водного режима осушаемых земель

$$(\beta_{AF}^Y)_k \in [1 - \varepsilon_k, 1 + \varepsilon_k]. \quad (19.27)$$

Поэтому потенциально возможное значение КПД ФАР $\bar{\eta}_{kg}$ определялось пошаговой итерацией для каждой расчетной схемы по соответствующей k -й культуре проектного севооборота при минимальном отклонении отношения $(\beta_{AF}^Y)_k$ от 1 ($\varepsilon_k \in [0; 0,2]$) через средневзвешенное значение $(\beta_{AF}^Y)_k$, которое учитывает природно-климатические условия в пределах проектного срока функционирования объекта

$$(\beta_{AF}^Y)_k = \sum_{p=1}^{n_p} (\beta_{AF}^Y)_{kp} \cdot \alpha_p, \quad (19.28)$$

где $(\beta_{AF}^Y)_{kp}$ – расчетные значения отношения β_{AF}^Y для k -й культуры.

Что касается фактических значений КПД ФАР ($\bar{\eta}_{okgsp}$), то их возможно установить как в полевых или лабораторных условиях, так и по отношению технологической урожайности в энергетическом виде (Q_{kp}^A) к суммарному приходу ФАР за расчетный период вегетации культуры Q_p

$$\bar{\eta}_{kg} = 10^{-6} \cdot \frac{Q_{kp}^A}{\sum Q_p}, \quad \% \quad (19.29)$$

Величина Q_{kp}^A устанавливается как произведение показателя калорийности растений (q_k) на соответствующий урожай их биомассы (Y_k^{σ}) (биологический урожай)

$$Q_{kp}^A = 100 \cdot q_k \cdot Y_k^{\sigma}, \quad \text{кДж/кг.} \quad (19.30)$$

В свою очередь, Y_k^{σ} определяется по известным или определенным значениям товарной продукции Y_k^T и коэффициентом хозяйственной эффективности урожая a_k в виде

$$Y_k^{\sigma} = \frac{Y_k^T}{a_k}, \quad \text{ц/га.} \quad (19.31)$$

19.4.2. Определение урожайности по плодородию почвы. Общеизвестным показателем плодородия почв является их бонитет, выраженный в баллах. Он представляет собой интегральную величину разных свойств почвы и устанавливается по наличным методикам оценки плодородия почв, учитывающих весь комплекс природных и технологических факторов плодородия.

Наиболее практичным подходом при определении бонитета почвы и влияния его на формирование урожайности является агроэкологический метод. Теоретической его основой служит закон равнозначности и незаменимости факторов жизнедеятельности растений, к которым, по К. А. Тимирязеву, принадлежат свет, тепло, питательные вещества и вода. При этом природные свойства и признаки почвы выступают как критерии бонитировки и делятся на две группы – основные и модифицированные.

К основным критериям относятся показатели, которые непосредственно характеризуют способность почвы удовлетворять потребность растений в воде и элементах питания. Это максимально возможные запасы продуктивной влаги, запасы гумуса, содержащее питательных веществ, главным образом потенциально доступных форм азота, фосфора и калия. Модифицированные критерии характеризуют специфические свойства почвы, влияющие на способность растений использовать в процессе формирования урожая питательные вещества и воду.

Например, фактор почвы при достаточном содержании питательных веществ и влаги, но вследствие повышенной кислотности, солонцеватости или наличия в корневом слое токсичных веществ, неблагоприятных агрофизических и других свойств существенным образом снижает уровень плодородия, урожайность и качество продукции. Это служит причиной необходимости учета и количественной оценки их отрицательного действия. А поскольку отрицательные свойства (повышенная кислотность, солонцеватость, оглеенность, эродированность, загрязнение и т. п.) имеют местный (зональный или региональный) характер, то они учитываются через поправочные коэффициенты к оценочным баллам. Эти баллы высчитываются по основным критериям: максимально возможными запасами продуктивной влаги и запасами гумуса в метровом слое, содержанием азота, фосфора, калия.

По параметрам основных критериев и содержанию микроэлементов устанавливают балл бонитета, после чего вводят поправки на отрицательные свойства и получают обобщенный показатель эколого-агрохимического состояния почвы. Если поле представлено одной почвой, то полученный показатель будет характеризовать все поле. В случаях, когда поле расположено на нескольких почвах, высчитывают средневзвешенный балл поля по бонитету всех его почв.

Для каждого диагностического показателя, который выступает в роли одного из типичных критериев, рассчитывают балл бонитета как процентное отношение фактического значения признака к эталону

$$B_{os} = \Phi \cdot 100 / E, \quad (19.32)$$

где B_{os} – балл типичного диагностического признака; Φ – фактическое значение признака; E – эталонное значение признака.

По всем высчитанным таким образом основным критериям для данной почвы рассчитывается средний балл

$$B = \frac{MB3PB + \Gamma + N + P + K + B + \frac{Mo + Mn + Cu + Co + Zn}{6}}{6}, \quad (19.33)$$

где B – средневзвешенный балл поля, земельного участка; $MB3PB$ – максимально возможные запасы продуктивной влаги; Γ – гумус; N – азот; P – подвижный фосфор; K – обменный калий; B – бор; Mo – молибден; Mn – марганец; Cu – медь; Co – кобальт; Zn – цинк.

Определенный по основным критериям средний балл корректируется далее по модифицированным критериям через поправочные коэффициенты на отрицательные свойства почвы и климат.

Количество поправочных коэффициентов ограничивается четырьмя наиболее важными.

На стадии проекта реконструкции и строительства МС учет влияния плодородия почвы на формирование действительно возможной урожайности в структуре общей модели осуществляется по коэффициенту K_1 , который определяется как

$$K_1 = B_g / B_0, \quad (19.34)$$

где B_g – бонитет почвы (в баллах); B_0 – бонитет эталонной почвы, $B_0 = 100$ баллов.

19.5. Определение агротехнически обеспеченной урожайности

Одной из наиболее определяющих характеристик, которая оказывает влияние на развитие растений, является, безусловно, питательный режим. Его регулирование благодаря применению удобрений должно быть направлено не только на получение максимальной прибавки урожая, но и на предупреждение возможного отрицательного их влияния на качество продукции и природную среду.

Интенсивная система земледелия на осушаемых землях возможна только при систематическом внесении удобрений в необходимых нормах и соотношениях. Под действием удобрений увеличивается урожайность сельскохозяйственных культур и улучшается качество продукции.

Система удобрений должна обеспечить высокую урожайность и вместе с тем экологическую безопасность выращивания культур, необходимое качество продукции, экономический эффект от применения удобрений, увеличение плодородия почвы, сведение к минимуму потерь питательных веществ из удобрений и почвы вместе с инфильтрационными и дренажными водами.

В структуре общей модели изменение урожайности с учетом внесенных удобрений определяется по коэффициенту K_2 в виде

$$K_2 = 1 + \Delta Y_{окгп}^A / Y_{окгп}^B, \quad (19.35)$$

где $\Delta Y_{окгп}^A$ – прибавка урожая за счет внесения удобрений, ц/га.

Величина $\Delta Y_{окгп}^A$ может быть определена по модели, которая традиционно используется в программировании урожая [9]

$$\Delta Y_{окгп}^A = \frac{(x_1 + x_2 + x_3) \cdot a_1}{100} + \frac{z \cdot a_2}{100} + A_p + C_p, \quad \text{ц/га}, \quad (19.36)$$

где x_1, x_2, x_3 – соответствующие нормы минеральных удобрений (N,P,K), кг д.в. /га; z – норма органических удобрений, т/га; a_1 – окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений урожаем, кг/га; a_2 – окупаемость 1 т органических удобрений урожаем, т/га; A_p – прибавка урожая за счет агротехнических ресурсов, ц/га; C_p – прибавка урожая за счет сортовых ресурсов, ц/га.

В модели (19.36), как правило, используют средние рекомендованные нормы внесения удобрений. На наш взгляд, такие рекомендации теряют свою практическую ценность, поскольку не учитывают взаимосвязь между экологическими и экономическими требованиями к системе применения удобрений. Как свидетельствует практика и результаты научных исследований, эколого-экономическая эффективность удобрений возрастает при увеличении их норм до определенного предела [33]. Поэтому необходимо установление оптимальных норм внесения удобрений на почвах с разным плодородием с учетом ограничения вмешательства в природную систему (соблюдение правила 10 % в экологии) [29], согласно которому предел вмешательства в любой из ее компонентов не должен превышать 10 % потенциала. Иначе эта система со временем выходит из равновесия и деградирует.

По результатам обработки данных многолетних экспериментальных исследований на кафедре природообустройства и гидромелиораций и кафедре агрохимии и земледелия НУВХП [25] для количественной оценки связи между урожаем культур и питательным режимом предложено использовать аппроксимированную нормированную кривую с одним максимумом в виде тригонометрических функций

$$y = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \cdot \arctg(A - Bx), \bar{x} \leq x \leq x^0; \\ 0,485 + 0,385 \cdot \arctg(C - Dx), x^0 \leq x \leq \bar{x}, \end{cases} \quad (19.37)$$

где:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{3,65 \cdot (0,9 \cdot x^0 + \bar{x})}{x^0 - \bar{x}}; B = \frac{7,3}{x^0 - \bar{x}}; \\ C &= \frac{3,9 \cdot (\bar{x} + 0,9 \cdot x^0)}{x - x^0}; D = \frac{7,3}{x - x^0}. \end{aligned} \right\} \quad (19.38)$$

В выражениях (19.37), (10.38): y – нормированная функция, принимающая значение в интервале $[0,1]$; x – аргумент функции; A, B, C, D – коэффициенты кривых; \bar{x}, x^0, \bar{x} – соответственно начало, экстремальная точка (где $y=1$) и конец области определения аргумента.

Расчет оптимальных норм удобрений осуществляется путем корректировки рекомендованных их норм под культуру [33] в следующем виде (19.37)

$$\begin{cases} H_{opt} = H_{рек} \cdot (0,485 - 0,385 \cdot \arctg(2,92 - 0,18 \cdot B)); \\ H_{opt} = H_{рек} \cdot (0,485 + 0,385 \cdot \arctg(8,58 - 0,12 \cdot B)), \end{cases} \quad (19.39)$$

где H_{opt} – оптимальные с учетом уровня плодородия почвы нормы удобрений; $H_{рек}$ – рекомендованные под культуру нормы удобрений; B – бонитет почвы.

Значения коэффициентов A, B, C, D определены для выражения (19.39) с учетом принятого гипотетического условия, что на данном этапе развития сельскохозяйственного производства наиболее эффективное использование рекомендованных норм удобрений под культуру с учетом эколого-экономических аспектов происходит при общем эффективном плодородии почв на уровне 40 баллов (оцененной по стандартной 100-балльной шкале).

Производственная проверка данного подхода выполнена на примере осушительно-увлажнительной системы, расположенной в верховье р. Припять на землях ЧСП «Украина» Любомльского района Волынской области. В качестве исследуемой культуры выбран картофель.

На рисунке 19.6 приведен график зависимости внесения норм удобрений (H) от общего плодородия почвы (B) для данной культуры и соответствующие уравнения, характеризующие эту связь.

В таблицах 19.1 и 19.2 приведены сравнительные характеристики расчетных и рекомендованных норм соответственно органических и минеральных удобрений под картофель в условиях исследуемого объекта.

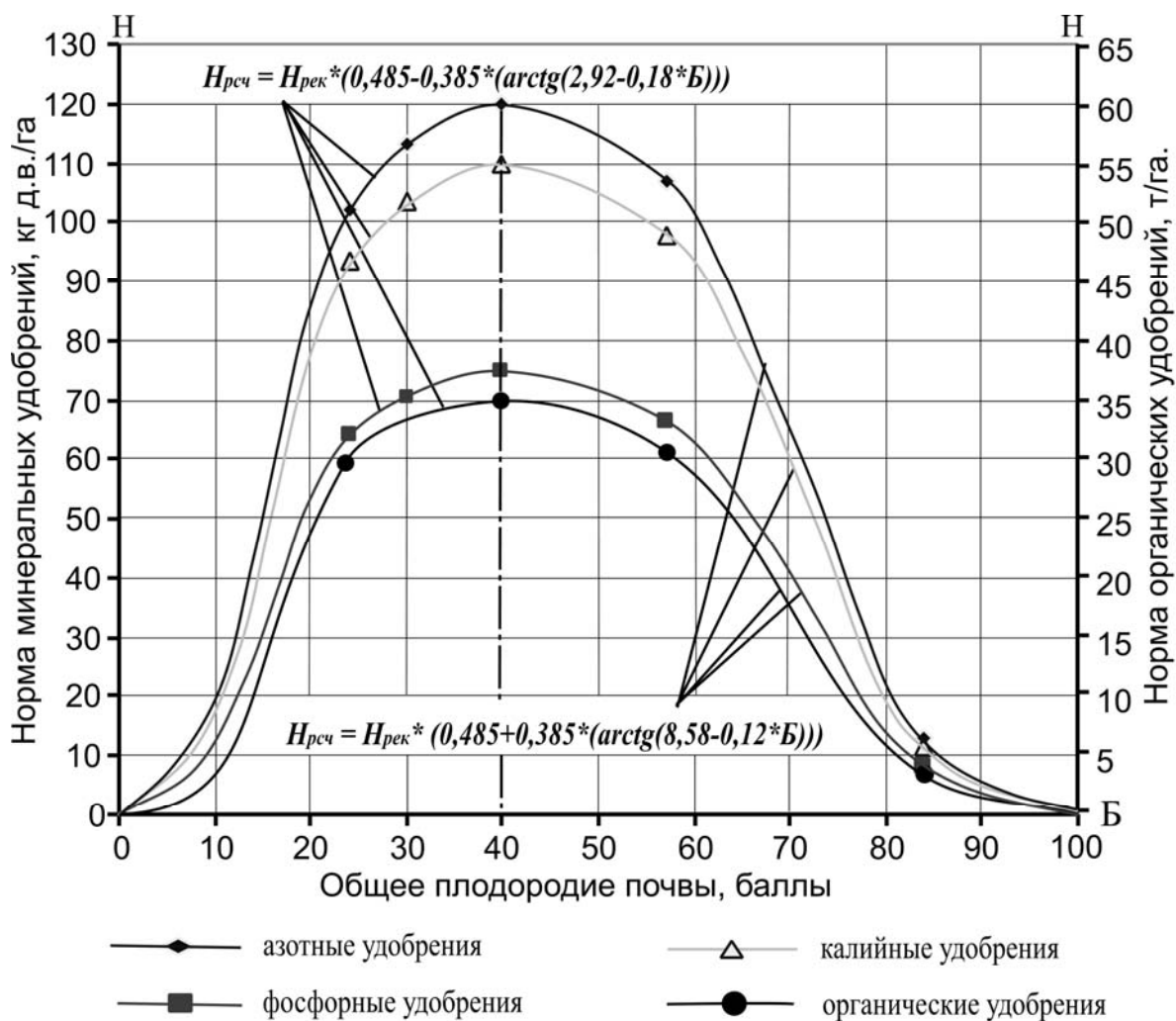
Таблица 19.1

Сравнение расчетных и рекомендованных под картофель норм внесения органических удобрений на примере исследуемого объекта

Проектная урожайность, ц/га	Рекомендованная норма удобрений под культуру, т/га	Расчетная норма удобрений, т/га	Экономия удобрений		Прибавка урожайности по внесенным удобрениям, ц/га
			т/га	%	
Дерново-слабоподзолистая глееватая связно-песчаная почва (Б=24)					
165	35	29,8	5,2	14,8	24,4
Дерновая среднесуглинистая почва (Б=57)					
295	35	31,1	3,9	11,1	25,5
Дерново-карбонатная среднесуглинистая почва (Б=84)					
411	35	3,7	31,3	89,4	3,1

Уменьшение норм внесения удобрений в зависимости от плодородия почвы дает экономию по органическим удобрениям от 11,0 % на дерново-глеевых среднесуглинистых (Б = 57) до 89,0 % на дерново-карбонатных среднесуглинистых почвах (Б = 84) и по минеральным удобрениям от 6,4 % на

торфяниках (Б = 30) до 89,2 % на дерново-карбонатных среднесуглинистых почвах (Б = 84). При этом общая тенденция экономии азотных, фосфорных и калийных удобрений в структуре полного минерального удобрения сохраняется.



$H_{рек}$, $H_{рсч}$ - соответственно рекомендованные под культуру и расчетные нормы по видам удобрений

Рис. 19.6. Зависимость норм внесения удобрений под картофель от плодородия почвы

Таким образом, данный подход по расчету норм удобрений в структуре определения проектной урожайности на осушаемых землях позволяет минимизировать отрицательные экологические последствия системы применения удобрений.

Корректировка урожайности по срокам сева (возобновления вегетации). Оптимальные сроки сева обусловлены видом сельскохозяйственной культуры и агроклиматическими особенностями района ее выращивания. С агротехнической точки зрения они наступают тогда, когда почва прогревается до нужной температуры. Также на оптимальные сроки сева влияют состав почвенного воздуха, микробиологические факторы, обуславливающие взаимодействие между растениями и микроорганизмами, и т. п.

Для оценки потерь урожая выращиваемых культур от несоблюдения сроков сева систематизированы и обработаны исследовательские данные сельскохозяйственных и научно-исследовательских учреждений, размещенных в зоне Полесья Украины.

Влияние сроков сева (восстановления вегетации) выращиваемых культур в структуре общей модели урожайности на осушаемых землях определяется как

$$K_3 = \gamma_C = 1 - \delta_C \cdot \sum \Delta T_{П}^0, \quad (19.40)$$

где δ_C – эмпирический коэффициент, зависящий от вида культуры; $\sum \Delta T_{П}^0$ – сумма недобора температур воздуха в промежутке между оптимальной τ_0 и фактической τ датами сева.

Сравнение расчетных и рекомендованных норм внесения минеральных удобрений под картофель на примере исследуемого объекта

Проектная урожайность, ц/га	Форма удобрения	Содержание действующего вещества в удобрении, %	Рекомендованная норма внесения удобрений			Расчетная норма внесения удобрений			Экономия удобрений		Прибавка урожая от действия удобрений, ц/га
			кг/га д. в.	физическая масса, ц/га	стандартные туки, ц/га	кг/га д. в.	физическая масса, ц/га	стандартные туки, ц/га	стандартные туки, ц/га	%	
Дерново-слабоподзолистая глееватая связно-песчаная почва (Б=24)											
165	Цианамид кальция	N 19,5	120	6,15	5,85	102	5,23	4,97	0,88	15,04	71,9
	Фосфатная мука	P ₂ O ₅ 19,0	75	3,95	3,95	64	3,37	3,37	0,58	14,68	
	Калимагnezия	K ₂ O 28,0	110	3,93	2,83	94	3,36	2,42	0,41	14,49	
Торфяная почва (Б=30)											
187	Суперфосфат	P ₂ O ₅ 19,5	75	3,85	4,0	71	3,64	3,79	0,21	5,25	79,6
	Калийная соль	K ₂ O 40,0	110	2,75	2,64	104	2,60	2,44	0,20	7,58	
Дерново-глеявая среднесуглинистая на плотных карбонатных породах почва (Б=57)											
295	Известняково-аммиачная селитра	N 20,0	120	6,00	5,88	107	5,35	5,24	0,64	10,88	75,1
	Суперфосфат	P ₂ O ₅ 19,5	75	3,85	4,00	67	3,44	3,57	0,43	10,75	
	Калимагnezия	K ₂ O 28,0	110	3,93	2,83	98	3,50	2,52	0,31	10,95	
Дерново-карбонатная среднесуглинистая почва (Б=84)											
411	Сульфат аммония	N 20,5	120	5,85	5,85	13	0,63	0,63	5,22	89,23	9,0
	Суперфосфат	P ₂ O ₅ 19,5	75	3,85	4,00	8	0,41	0,43	3,57	89,25	
	Калийная соль	K ₂ O 40,0	110	2,75	2,64	12	0,30	0,29	2,35	89,02	

19.6. Модель технологически обеспеченной урожайности

Рассмотрение технологически обеспеченной урожайности как составляющей общей модели обусловлено необходимостью корректировки потенциально возможной урожайности под влиянием текущих условий периода вегетации и технологических приемов (прежде всего метеорологических условий, технологии регулирования водного режима, сроков и технологии уборки сельскохозяйственной продукции) на формирование величины действительно возможной урожайности.

С целью лучшего представления такой модели целесообразно рассматривать отдельно производственные факторы влияния на формирование сельскохозяйственной продукции. Имеется в виду создание соответствующих моделей по оценке урожайности по текущим условиям периода вегетации и технологическим факторам (срок и качество уборки).

19.6.1. Определение урожайности по природно-мелиоративным условиям периода вегетации. Создание модели, учитывающей влияние природно-мелиоративных условий на формирование урожайности, играет важную роль в структуре определения технологически обеспеченной урожайности (урожайности производства) на осушаемых землях. Модель основывается на учете, главным образом, водного и температурного режимов. В ее основу положен наиболее распространенный и апробированный на практике подход к оценке изменения величины потенциально возможной урожайности Y^0 определенной k -й культуры к действительно возможной Y , обусловленной текущими условиями тепло- и влагообеспеченности посева за вегетацию по показателю β .

Тогда в общей модели

$$K_4 = \bar{\beta}_\tau = \beta_\tau(\bar{\beta}_{\tau-1}, q_\tau, p_\tau, a_\tau^k, \tau), \quad \tau = \overline{1, T}, \quad (19.41)$$

где $\bar{\beta}_\tau$ и $\bar{\beta}_{\tau-1}$ – векторы состояния развития посева соответственно на момент времени τ и за предыдущий период $(\tau - 1)$ при заданном β_0 ; q_τ, p_τ, a_τ^k – векторы соответственно неуправляемых (метеорологические факторы) и управляемых (способы регулирования водного режима) внешних воздействий и внутренних физиологических параметров культуры на момент времени τ .

Поскольку на мелиорируемых землях для растительного организма в каждую фазу его развития $\varphi, \varphi = \overline{1, n_\varphi}$ имеется оптимальный уровень водопотребления (транспирационная составляющая суммарного испарения), показатель β может быть представлен в виде интегрального показателя уровня развития культуры за вегетацию через динамику ее потенциального и эффективного водопотребления в относительном виде

$$\beta = \sum_{\varphi=1}^{n_\varphi} ET_\varphi / \sum_{\varphi=1}^{n_\varphi} ETV_\varphi, \quad (19.42)$$

где ET_φ, ETV_φ – соответственно эффективное и потенциально возможное водопотребление культуры за φ -ю фазу развития.

Составляющей такой модели является функция снижения продуктивных процессов, которая опосредованно может быть представлена через динамику водопотребления культур за вегетацию и позволяет учесть несоответствие реальных условий тепло- и влагообеспеченности посева по отношению к оптимальным.

Поэтому функция снижения водопотребления и урожайности культур на осушаемых землях через несоответствие температурного $\lambda_1(t)$ и водного $\lambda_2(w)$ режимов за вегетацию имеет вид

$$\lambda(t, w) = \lambda_1(t) \cdot \lambda_2(w). \quad (19.43)$$

Тогда, если эти функции представить в соответствующих обозначениях, получаем:

а) для температурного режима приземного слоя воздуха

$$\lambda_1(t) = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg \left[\frac{3,65(0,9t^0 + \underline{t}) - 7,3t}{t^0 - \underline{t}} \right], & \underline{t} \leq t \leq t^0; \\ 0,485 + 0,385 \arctg \left[\frac{3,65(\bar{t} + 0,9t^0) - 7,3t}{\bar{t} - t^0} \right], & t^0 \leq t \leq \bar{t}; \end{cases} \quad (19.44)$$

б) для водного режима активного слоя почвы

$$\lambda_2(w) = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg \left[\frac{3,65(0,9w^0 + \underline{w}) - 7,3w}{w^0 - \underline{w}} \right], & \underline{w} \leq w \leq w^0; \\ 0,485 + 0,385 \arctg \left[\frac{3,65(\bar{w} + 0,9w^0) - 7,3w}{\bar{w} - w^0} \right], & w^0 \leq w \leq \bar{w}, \end{cases} \quad (19.45)$$

где $\underline{t}, t^0, \bar{t}$ – соответственно нижний, оптимальный и верхний температурный предел жизнедеятельности данного вида (сорта) растения; $\underline{w}, w^0, \bar{w}$ – соответственно нижний, оптимальный и верхний предел влагообеспеченности для данного вида (сорта) растения; t, w – соответственно средние значения температуры воздуха и влажности активного слоя почвы в поточный момент времени периода вегетации культуры.

Для реализации данного подхода необходим соответствующий комплекс прогнозно-имитационных моделей распределения основных метеофакторов и водного режима почв за вегетацию конкретной культуры [36].

19.6.2. Корректировка урожайности по срокам уборки. Срок уборки культуры играет важную роль в процессе получения фактических урожаев производства выращиваемых культур. Отклонение от его оптимального значения в ту или иную сторону может приводить к значительным потерям сельскохозяйственной продукции.

В практике сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях потери урожая от несвоевременной уборки можно оценить по экспериментальным данным при условии, что оптимальные сроки уборки совпадают с накоплением суммы среднесуточных эффективных температур воздуха. Поэтому необходимо правильное определение начала и продолжительности уборки урожая культур, поскольку эти параметры сильно влияют на величину собранного урожая.

При определении оптимального срока уборки, как и при установлении оптимального срока сева, принято считать, что потери урожая зависят только от продолжительности периода между оптимальными и фактическими сроками уборки. Но такой подход не учитывает климатических условий конкретных лет и физиологических особенностей развития растений. При понижении температуры интенсивность накопления урожая снижается, а при ее снижении ниже биологического минимума, который довольно часто наблюдается осенью, поздние культуры вообще прекращают накопление биомассы. Поэтому более правильной является оценка потерь урожая от несвоевременной уборки по сумме среднесуточных температур воздуха за период между датой фактической уборки и ее оптимальным сроком.

С учетом этого в структуре общей модели действительно возможной урожайности потери урожая от несвоевременной уборки по коэффициенту K_5 можно определить как

$$K_5 = \gamma_3 = 1 - \delta_3 \cdot \sum \Delta T_3^0, \quad (19.46)$$

где δ_3 – эмпирический коэффициент, зависящий от вида культуры; $\sum \Delta T_3^0$ – сумма среднесуточных температур воздуха в интервале между оптимальной $\bar{\tau}_0$ и фактической $\bar{\tau}$ датами ее уборки.

10.6.3. Корректировка урожайности при уборке и транспортировке продукции. Урожай, выращенный в поле, и урожай, который будет оплачен при сдаче на хранение или переработку, очень часто сильно отличается. Основной причиной этого являются потери, которые имеют место при уборке урожая. Они, в свою очередь, зависят от качества уборки, механизмов, которые при этом применяются, потерь при транспортировке и потерь за счет уменьшения объемной массы собранного урожая при хранении в течение некоторого времени [16].

Ведущая роль в сокращении потерь и приближении фактического урожая к выращенному в конкретных почвенных и климатических условиях принадлежит правильному выбору техники, технологии уборки и сроков ее проведения.

По обыкновению определить потери урожая сельскохозяйственных культур возможно приближенно путем анализа и соотношения собранной массы и выращенной продукции.

Поэтому при долгосрочном прогнозе действительно возможной урожайности с учетом обобщенных наличных справочных и фактических данных [16, 39] в структуре общей модели допустимо принимать значение $K_6 = 0,8...0,85$.

19.7. Определение долевого участия определяющих факторов развития на продуктивность осушаемых земель

Процесс роста и развития сельскохозяйственных культур зависит от значительного количества факторов, обусловленных влиянием внешней среды и антропогенной деятельностью. В связи с этим необходимы исследования, связанные с оценкой закономерностей влияния отдельных факторов (или их комплекса) на урожай выращиваемых культур, и разработка на этой основе способов учета их действия на урожай. Решение этих вопросов будет содействовать усовершенствованию технологии выращивания культур, ее уточнению в соответствии с особенностями их развития, а также получению оптимальных урожаев с учетом экологических и экономических аспектов при условии разного соотношения природных, агротехнических и мелиоративных факторов.

В. С. Мошинским [14] выполнена оценка количественных значений «веса» компонентов сложной системы, которая описывает продуктивность и оценку состояния осушаемых земель Украины. Значения весовых коэффициентов устанавливались путем декомпозиции рассмотренных категорий урожайности на осушаемых землях и определения бинарных отношений преимущества основных элементов системы.

По подходу Е. П. Галямина [2] значимость факторов можно определять путем имитационного моделирования, которое основывается на анализе чувствительности исследуемой характеристики к изменению параметров, характеризующих факторы развития растений. Автор использует соответствующую методику в созданной им модели роста и развития растения. Суть ее заключается в том, что некоторому параметру A_i предоставляется прирост $\Delta A_i = 0,01A_i$ и происходит рас-

чет по модели при значениях параметров A_i и $(A+\Delta A_i)$. В дальнейшем регистрируются значение M_3 (биомассы растения) и ΔM_3 в конце периода вегетации и на их основе находятся коэффициенты чувствительности ($KЧ$) в виде

$$KЧ = \frac{\Delta M_3 / M_3}{\Delta A_i / A_i}. \quad (19.47)$$

По этому выражению можно определить, на сколько процентов изменится урожай при изменении на 1 % исследуемого параметра A_i . Абсолютные значения показателя $KЧ$ позволяют осуществить оценку степени влияния конкретной характеристики на формирование урожая и повысить точность при определении параметров, влияющих на накопление биомассы выращиваемых культур.

Результаты проведенного Е. П. Галяминим анализа относительно чувствительности различных факторов подтверждают адекватность данной методики, поскольку они хорошо согласованы с процессами развития растений и не противоречат известным фактам из их физиологии. Но тут следует отметить, что эта методика, как и другие известные подходы, позволяет определять лишь уровень влияния отдельного фактора на развитие растения при условии совместного действия на растение всего спектра природных, агротехнических и мелиоративных факторов, а не его долевую частицу. Поэтому в нашем случае использованы балансовый и статистический методы в сочетании с долгосрочным прогнозом.

В качестве примера рассмотрим решение данной задачи на осушаемых землях в ЧСП «Украина» Любомльского района Волынской области. При этом рассматривались уточненные нами категории урожайности, отвечающие промежуточным категориям эталонных урожаев по Х. Г. Томингу: *потенциальная урожайность* (ПУ); *действительно возможная урожайность* (ДВУ); метеорологически возможная урожайность (МВУ); *урожайность производства* (УП). В дальнейшем определялось соответствующее значение технологически обеспеченной урожайности, на основании которого рассчитаны долевые частицы влияния каждого отдельного фактора по выражению

$$f_i = \frac{\Delta Y_i}{Y_{okgsp}} \cdot 100 \%, \quad (19.48)$$

где f_i – долевая частица влияния i -го фактора на урожайность культуры; ΔY_i – прибавка урожая от влияния i -го фактора, ц/га; Y_{okgsp} – значение технологически обеспеченного урожая, ц/га.

Результаты корреляционного анализа подтвердили, что существует линейная связь между рассмотренными категориями урожайности для многолетних трав. Для определения степени связи между ними использован метод многомерного регрессионного анализа (построение матрицы корреляционных отношений $|r_{mn}|$) [5, 38]

$$|r_{mn}| = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (19.49)$$

По обобщенным результатам расчетов на ЭВМ и построения корреляционной матрицы (табл. 19.3) получены значения корреляционных отношений r между рассмотренными категориями урожайности. Они являются надежными ($r=0,317\dots 0,894$), поскольку во всех случаях выполняется необходимое статистическое условие $(r/\sigma_r) \geq 3$ при количестве расчетных схем $n=6720 > 50$ [38].

Рассмотрим оценку влияния основных факторов на формирование урожайности типичной культуры на осушаемых землях Полесья – многолетних трав на сено (рис. 19.4).

На данной диаграмме приведены рассчитанные весовые коэффициенты (как долевые частицы в %) влияния бонитета почвы, сортового ресурса, внесения удобрений, технологии регулирования водного режима на урожайность многолетних трав на сено при их выращивании на дерново-подзолистой глееватой связно-песчаной почве.

Рассмотрены 2 типичные технологии регулирования водного режима: осушение и орошение на фоне предупредительного шлюзования а также 3 расчетных периода вегетации: очень влажный ($p = 10 \%$), средний ($p = 50 \%$) и очень сухой ($p = 90 \%$). Результаты оценки позволяют сформулировать следующие выводы.

Результаты корреляционного анализа между категориями урожайности для многолетних трав на осушаемых землях ЧСП «Украина» Любомльского района Волынской области

Категории урожайности	$Y_{окр}^F$	Y^B	Y^A	$Y_{когсп}$
<i>Корреляционные отношения, r</i>				
$Y_{окр}^F$	1	0,391	0,317	0,297
Y^B	0,391	1	0,515	0,461
Y^A	0,317	0,515	1	0,894
$Y_{когсп}$	0,297	0,461	0,894	1
<i>Стандартные ошибки корреляционных отношений, σ_r</i>				
$Y_{окр}^F$	-	0,043	0,046	0,047
Y^B	0,043	-	0,038	0,040
Y^A	0,046	0,038	-	0,010
$Y_{когсп}$	0,047	0,040	0,010	-
<i>Оценка надежности корреляционных отношений, когда $r/\sigma_r \geq 3$</i>				
$Y_{окр}^F$	-	9,057	6,916	6,389
Y^B	9,057	-	13,74	11,48
Y^A	6,916	13,74	-	87,64
$Y_{когсп}$	6,389	11,48	87,64	-

Примечание: $Y_{окр}^F$ – климатически обеспеченная урожайность; Y^B – урожайность, обеспеченная природным бонитетом почвы; Y^A – агротехнически обеспеченная урожайность; $Y_{когсп}$ – технологически обеспеченная урожайность. Смысл индексов обоснован в пояснениях к математическим моделям.

При выращивании многолетних трав на дерново-подзолистых глееватых связно-песчаных почвах (рис. 19.7) для условий очень сухого года ($p = 90\%$) и работы системы в режиме осушения наибольшее влияние на урожай оказывает фактор внесения удобрений (долевое участие достигает 49%). Если применить наилучшую для данных условий технологию регулирования водного режима – увлажнение на фоне предупредительного шлюзования, то долевое участие фактора внесения удобрений повышается до 54,7%, в свою очередь, возрастает и эффективность технологии регулирования водного режима с 11,4 до 14,4%. При условиях проведения агротехнических мероприятий, не предусматривающих внесения удобрений, соответственно повышается роль других факторов, в частности плодородия почвы, сортового ресурса выращиваемой культуры и технологии регулирования водного режима. При выращивании многолетних трав долевое участие указанных факторов возрастает более чем в 2 раза.

Таким образом, рассмотренный подход можно использовать для решения задач, связанных с выбором наиболее влиятельных факторов на формирование проектной урожайности выращиваемых на осушаемых землях культур, и осуществлять управление ими в многолетнем разрезе.

Предложенный метод обоснования проектной урожайности на основании представленного комплекса прогнозно-имитационных моделей может быть реализован в структуре прогнозно-оптимизационных расчетов по обоснованию оптимальных проектных ТТР регулирования водного режима осушаемых земель Полесья с учетом экологических и экономических аспектов. Для его производственного внедрения разработан нормативный документ в виде приложения к государственным строительным нормам и правилам, который содержит два подхода к решению этого вопроса – на основе комплекса прогнозно-имитационных моделей с использованием ЭВМ и упрощенного варианта его реализации по нормированным значениям корректирующих коэффициентов [25].

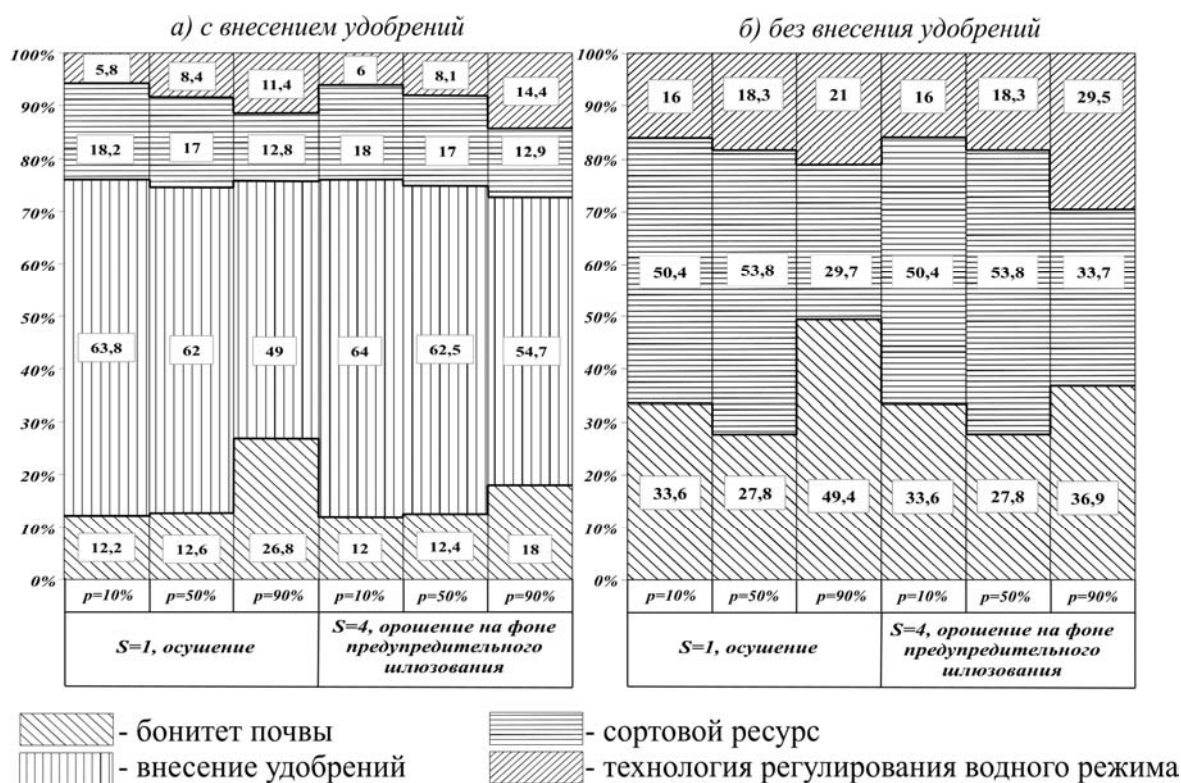


Рис. 19.7. Долевые частицы (%) определяющих факторов в формировании урожая многолетних трав на дерново-подзолистой почве (бонитет 24 балла)

19.8. Проверка и оценка комплекса моделей по обоснованию проектной урожайности на осушаемых землях зоны Полесья

Верификация комплекса моделей выполнена по независимым данным, которыми характеризуется объект на землях исследовательско-производственного стационара Института сельского хозяйства «Полесье» УААН (с. Грозино Коростенского района Житомирской области). В качестве примера рассмотрены и проанализированы условия выращивания многолетних трав на зеленую массу в структуре севооборота на осушаемых дерново-подзолистых супесчаных почвах при внесении дозы органических (до 20 т/га) и минеральных (до 340 кг. д. в. / га по НРК) удобрений.

При этом были использованы следующие данные и условия:

- результаты реализации модели метеорологических условий местности по определению типичного их распределения в расчетные периоды вегетации совокупности $\{p\}$, $p = \bar{1}, \bar{n}_p$ ($n_p=5$): очень влажный ($p = 1$); влажный ($p = 2$); средний ($p = 3$); сухой ($p = 4$) и очень сухой ($p = 5$), полученные в соответствии с [26];

- результаты реализации модели водного режима осушаемых земель относительно изменчивых природно-мелиоративных условий выращиваемой культуры [36];

- почвы на исследуемом объекте – минеральные, по гранулометрическому составу – супесчаные; продуктивный запас влаги расчетного слоя почвы $h = 0,5$ м: $WPh_g^0 = 470$ м³/га; критический – $WPh_g^k = 235$ м³/га;

- способы регулирования водного режима осушаемых земель приняты по почвенно-мелиоративным и хозяйственным условиям исследуемого объекта: фактический – осушение ($s = 1$); расчетный – предупредительное шлюзование ($s = 2$), увлажнительное шлюзование продолжительным подпором уровней воды ($s = 3$), орошение дождеванием на фоне осушения ($s = 4$) и орошение на фоне предупредительного шлюзования ($s = 5$);

Обобщенные результаты верификации комплекса прогнозно-имитационных моделей в исследуемых условиях приведены в таблице 19.4. Проверка предложенного подхода по идентификации модели урожайности осуществлена для условий мелиоративного объекта с двусторонним регулированием водного режима осушаемых земель на землях Броварской осушительно-увлажнительной системы (Переяслав-Хмельницкий район Киевской области).

Результаты верификации комплекса моделей на примере выращивания многолетних трав на зеленую массу (опытно-производственный стационар института «Полесье»)

Способы регулирования водного режима $\{s\}, s = \overline{1,5}$	Расчетная проектная урожайность, ц/га	Фактическое значение урожайности, ц/га	Отклонение, %
Дерново-подзолистая супесчаная почва (Б = 45 баллов)			
Осушение ($s=1$)	381,0	320	19,1
Предупредительное шлюзование ($s=2$)	443,9		38,7
Увлажнительное шлюзование ($s=3$)	449,2		40,4
Орошение на фоне осушения ($s=4$)	423,2		32,3
Орошение на фоне предупредительного шлюзования ($s=5$)	430,2		34,4

На рисунке 19.8 приведено распределение основных элементов водного баланса в декадном разрезе вегетационного периода и коэффициент снижения урожайности картофеля для условий рассматриваемого объекта.

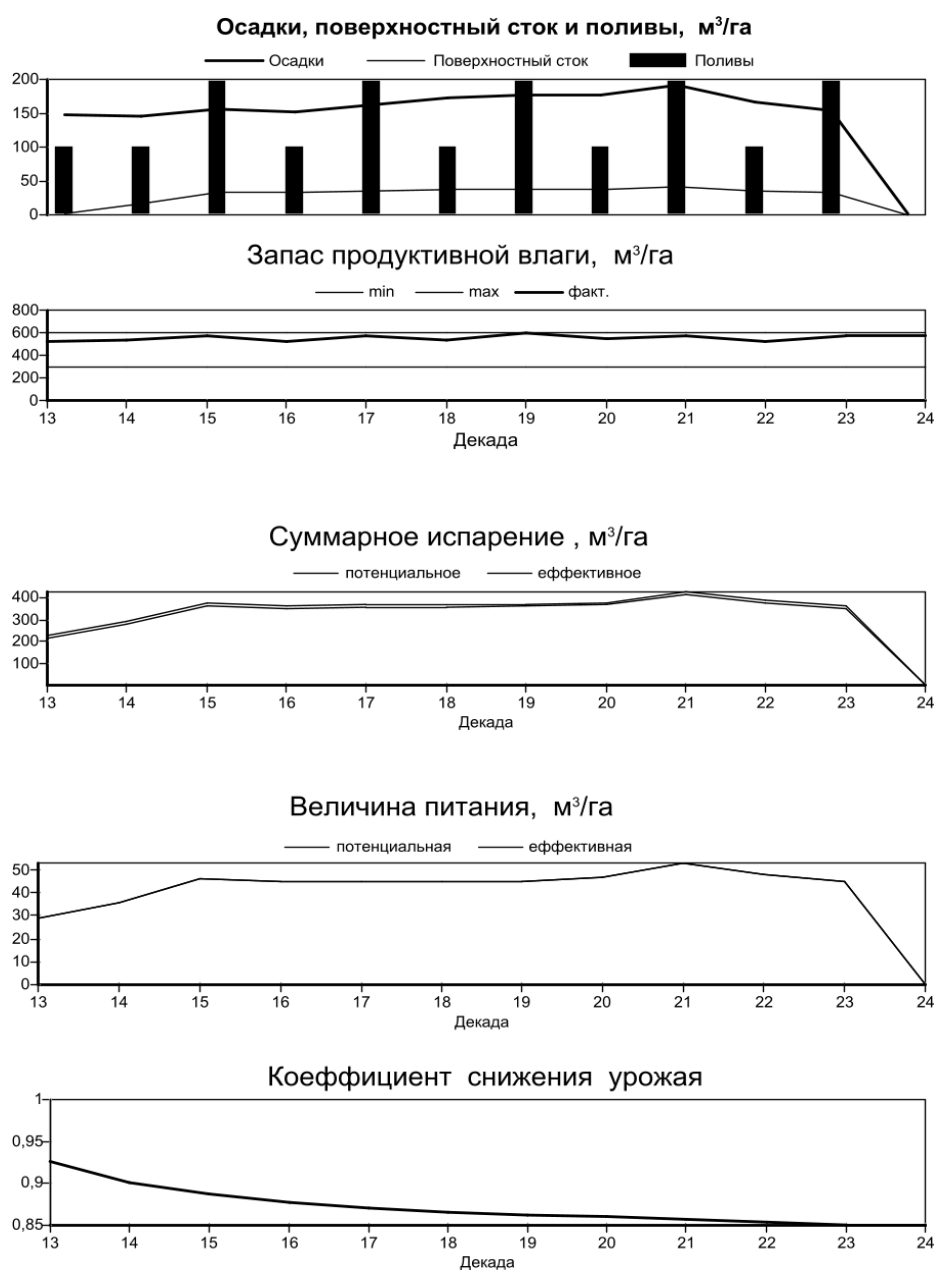


Рис. 19.8. Распределение основных элементов водного баланса в декадном разрезе вегетационного периода и коэффициент снижения урожайности картофеля на примере сухого года ($p = 70\%$) при применении дождевания на фоне предупредительного шлюзования на суглинистых почвах

Расчет произведен на примере сухого года ($p = 70 \%$) при применении дождевания на фоне предупредительного шлюзования на суглинистых почвах. Результаты расчета показали, что потенциальная урожайность картофеля для природных, агротехнических и мелиоративных условий рассматриваемого объекта составляет 238 ц/га, а фактическая – 203 ц/га.

По структуре построения, уровню сложности, информационного обеспечения и достоверности полученных результатов (70...90 %) данный подход по обоснованию проектной урожайности отвечает требованиям практического применения.

Разработанный подход может быть использован для обоснования оптимальных проектных решений при строительстве, реконструкции и эксплуатации МС в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения с учетом технологических, экономических и экологических аспектов их функционирования, а также оценке их инвестиционной эффективности.

Литература

1. Вознюк С. Т. Західне Полісся: сучасний стан і подальший розвиток меліорації земель // Водне господарство України. – 1996. – № 4. – С. 16–19.
2. Галямин Е. П. Модель оптимального регулирования условий жизни растений на мелиорируемом поле // Гидротехника, мелиорация и использование осушенных земель. – Минск, 1968. – С. 125–137.
3. Гойса Н. И., Олейник Р. Н., Рогаченко А. Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 231 с.
4. Довідник по використанню осушених земель / за ред. В. І. Артеменка. – Київ: Урожай, 1987. – 200 с.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
6. Жуковский Е. Е., Нерпин С. В., Полуэктов Р. А. Модели продуктивности растительного покрова и управление формированием урожая // Принципы управления продукционными процессами в агроэкосистемах. – М.: Наука, 1976. – С. 86–96.
7. Жуковский Е. Е., Сепп О. В., Тооминг Х. Г. Вероятностные прогнозы эталонных урожаев // Метеорология и гидрология. – 1990. – № 1. – С. 18–23.
8. Землеробство на осушуваних землях / М. Г. Цюпа, В. С. Бистрицький, Т. І. Слюсар [та ін.] ; за ред. М. Г. Цюпи. – Київ: Урожай, 1990. – 184 с.
9. Каюмов М. К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 18–72.
10. Козин М. А. Водный режим почвы и урожай. – М.: Колос, 1977. – 303 с.
11. Литтл Т. М., Хиллз Ф. Дж. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ : пер. с англ. – М.: Колос, 1981. – 320 с.
12. Мелиорация и водное хозяйство. 3. Осушение : справочник / под ред. Б. С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
13. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур : пер. с англ. / под ред. Ф. В. Т. Пеннинга де Фриза, Х. Х. ван Лаарса. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 320 с.
14. Мошинський В. С. Визначення відносної ваги складових урожаю на осушуваних землях за ступенем їх взаєморегульованості // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Вип. 1(3). – Рівне, 2000. – С. 54–58.
15. Мошинський В. С. Еколого-меліоративна ситуація і урожай // Водне господарство України. – 2000. – № 3–4. – С. 15–18.
16. Мошинський В. С., Супрунець М. Ф. Проблеми визначення та зменшення втрат на шляху від екологічно забезпеченого до «комірною» врожаю // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Вип. 1(14). – Рівне, 2002. – С. 52–56.
17. Оцінювання і прогнозування метеорологічних величин в характерні за умовами зволоження періоди вегетації для виконання водобалансових розрахунків та агрометеорологічних прогнозів на довготерміновій основі : методичні вказівки / А. М. Рокочинський, О. І. Окопний, Я. Я. Зубик [та ін.]. – Рівне, 1996. – 33 с.
18. Панников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрение и урожай. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
19. Пасов В. М., Полевой А. Н. Некоторые итоги работ по созданию методов прогнозов урожайности зерновых культур // Труды ВНИИСХМ. – Вып. 1. – 1980. – С. 22–31.
20. Полевой А. Н. Динамико-статистические методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 2. – С. 92–102.
21. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 176 с.
22. Полетаев И. А. О математических моделях роста // Физиология приспособления растений к почвенным условиям. – Новосибирск: Наука, 1973. – С. 7–24.
23. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 312 с.
24. Полуэктов Р. А. Имитационные модели продуктивности агроэкосистем // Теоретические основы и количественные методы программирования урожаев : труды АФИ. – Л., 1979. – С. 14–23.

25. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, А. В. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Київ ; Рівне, 2006. – 50 с.
26. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2008. – 64 с.
27. Программирование урожаяев – в основу прогрессивных технологий / под ред. А. А. Собко. – Киев: Урожай, 1984. – 152 с.
28. Рассел Э. Почвенные условия и рост растений. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. – 624 с.
29. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
30. Рекомендации по обеспечению проектной урожайности на осушаемых минеральных почвах. – Киев: Урожай, 1986. – 72 с.
31. Рокочинський А. М. Моделі розвитку та формування врожаю культур на осушуваних землях // Водне господарство України. – 1997. – № 2. – С. 5–7.
32. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромащенко. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
33. Система застосування добрив : підручник / сост. А. П. Лісовал, В. М. Макаренко. – Київ: Вища шк., 2002. – 317 с.
34. Справочник по освоению и использованию мелиорированных земель / А. Г. Балан, В. И. Остапов, П. И. Коваленко [и др.]. – Киев: Урожай, 1986. – 271 с.
35. Тимчасові рекомендації з економічного обґрунтування меліоративних проектів у зоні осушуваних меліорацій. – Рівне, 2004. – 68 с.
36. Тимчасові рекомендації з прогнозування оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2011. – 54 с.
37. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
38. Уланова Е. С., Сиротенко О. Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 198 с.
39. Франс Дж., Торнли Ф. Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве : пер. с англ. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
40. Цупенко Н. Ф. Справочник агронома по метеорологии. – Киев: Урожай, 1990. – 240 с.
41. Шатилов И. С., Чудновский А. Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 318 с.
42. Baier W. Crop-weather analysis model: I. Summary // Int. Biometer. – 1973. – V. 17. – № 4. – 313 p.
43. Erickson R. O. Modelling of plant growth // Ann. Rev. Plant Physiol. – 1976. – V. 27. – P. 407–434.
44. Hanks R. J. Yield and water use relationships // Limitations on Efficient Water Use in Crop Production. – Amer. Soc. Agron. – 363, 1983. – P. 393–411.
45. McIntyre G. I. The role of water in the regulation of plant development // Can. J. Bot. – 1987. – 65, № 7. – P. 1287–1298.
46. Shawcroft R. W., Lewon E. R., Allen L. H., Stewart D. W., Jensen S. E. The soil-plant-atmosphere model and some of its predictions // Agric. Met. – 1974. – V. 14. – № 1/2. – P. 287–307.
47. Shin S. F. Evapotranspiration and crop yield relation-ships // Paper American Society of Agricultural Engineers. – 1985. – № 85. – P. 2021–2034.
48. Splinter W. E. Modelling of plant growth for yield prediction // Agric. Met. – 1974. – V. 14. – № ½. – P. 243–245.
49. Stewart D. W. Modelling plant-atmosphere systems // Impacts of Climatic Change on the Biosphere. CIAP Monogr. 5, P. 2, Climatic Effects. – 1975.

Глава 20. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

20.1. Современное состояние и пути совершенствования методов расчета осушительных систем в условиях развитого рельефа

При проектировании мелиоративных систем чрезвычайно важно правильно определить их параметры и параметры составляющих технических элементов систем (регулирующей сети, проводящей сети, регулирующих гидротехнических сооружений). Однако на параметры мелиоративных систем, параметры составляющих технических элементов систем, количество и расположение регулирующих гидротехнических сооружений, а также эффективность их работы, наряду с другими факторами, существенно влияет наличие развитого рельефа, что, в свою очередь, отражается на стоимости системы и ее общей экономической эффективности [12, 13, 33]. При этом конструктивные и технологические решения по водорегулированию мелиорированных земель традиционно основываются на использовании водобалансовых расчетов, разработкой, внедрением и развитием которых в общей теории и практике осушительных и оросительных мелиораций эффективно занимались известные мелиоративные школы, а именно А. Н. Костяков, С. Ф. Аверьянов, А. М. Янголь, В. П. Остапчик, А. В. Яцык, В. Ф. Шебеко, Г. И. Афанасик, П. И. Закржевский, А. П. Лихацевич, Ю. А. Михайлов, А. В. Скрипник, Н. А. Лазарчук, З. Б. Киндерис и др. [1, 2, 7, 15, 16, 18, 21, 29, 37, 44, 45 и др.].

Использование моделей водного баланса позволяет не только выполнить оценку, но и спрогнозировать влияние одного или нескольких факторов на влажность почв в пределах отдельного мелиорируемого поля и системы в целом.

Водный режим почв в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения обусловлен видом почв, рельефом местности, гидрологическими и гидрогеологическими условиями, видом и фазой развития выращиваемых сельскохозяйственных культур, климатическими или метеорологическими (динамикой и соотношением выпадающих атмосферных осадков и испарения) и мелиоративными (способами его регулирования) факторами.

Как показали практика и накопленный опыт, одним из многих факторов влияния на водный режим является наличие развитого рельефа осушаемых земель, который, в свою очередь, может определяющим образом влиять на технологию водорегулирования и конструкцию мелиоративных систем.

Согласно действующему нормативу ГСН В.2.4-1-99. «Мелиоративные системы и сооружения» дополнительное увлажнение (предупредительное и увлажнительное шлюзование) на осушаемых землях применяется в почвах с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 м/сут при уклонах поверхности до 0,005 и при близком (до 2 м) залегании УГВ к поверхности земли [4]. Но на территории с развитым рельефом заданный УГВ поддерживается на незначительной части мелиорированного массива. В локальных понижениях рельефа местности может иметь место выход грунтовых вод на дневную поверхность, а на возвышенностях залегание УГВ значительно превышает норму осушения.

В зоне избыточного увлажнения меньше заболочены повышенные элементы рельефа (водоразделы, крутые склоны), с которых атмосферные осадки стекают в виде поверхностного стока, переувлажня тем самым ниже расположенные территории. Наиболее заболочены бессточные, слабопроточные понижения и безуклонные равнины, на которых застаиваются поверхностные воды, особенно при недостаточной естественной дренированности территории.

Таким образом, развитый рельеф определяет необходимость выполнения планировки поверхности и проектирования дополнительных гидротехнических сооружений, которые, в свою очередь, увеличивают стоимость мелиоративной системы, но не всегда позволяют достичь поставленной цели по ее эффективности.

Анализ существующих объектов показал, что уже при уклонах, превышающих, 0,002, не достигается необходимый уровень влагообеспеченности сельскохозяйственных культур при применении предупредительного и увлажнительного шлюзования на значительной части осушаемых земель, что влияет на снижение урожая и общую эффективность мелиораций [10, 12, 28].

Как известно, геологическое строение оказывает значительное влияние на водный режим территории. Наиболее заболочены большие впадины и понижения земной поверхности, составленные осадочными породами, в которые стекают поверхностные и подземные воды с прилегающих возвышенностей. Эти воды являются дополнительными к атмосферным осадкам источниками избыточного увлажнения. Геологические условия определяют рельеф местности, степень его расчлененности и естественной дренированности территории, а также гидрогеологические условия.

Естественная дренированность характеризуется плотностью речной сети, ее глубиной, уклонами поверхности земли, водопроницаемостью почв и подстилающими породами. Заболоченность тер-

ритории тем меньше, чем больше плотность речной сети, чем глубже реки и ручьи, чем более проницаемы почвы. Существенное влияние оказывает и уклон поверхности земли: чем он меньше, тем большая ее часть подвергается переувлажнению и заболачиванию.

Особенности геологического строения, формирования почвенного покрова территории с развитым микрорельефом, источников их водного питания предусматривают особый подход к проектированию и строительству осушительных систем, суть которого в том, что создание оптимальных условий для выращивания сельскохозяйственных культур должно базироваться на комплексе мероприятий, содержащих как гидротехнические, так и агротехнические приемы и химическую мелиорацию.

Литологические условия характеризуют строение почв и подстилающих пород, которые влияют на формирование избыточной влаги. Хорошо водопроницаемые почвы (пески, супеси) редко бывают излишне увлажненными, поскольку атмосферные осадки быстро впитываются и не переувлажняют почву. Однако на тяжелых почвах (глина, суглинки), особенно при неблагоприятных условиях для поверхностного стока, вода застаивается и длительный период почва остается переувлажненной.

При неоднородном литологическом строении, когда хорошо водопроницаемые почвы переслаиваются со слабопроницаемыми, на последних, как на водоупорных горизонтах, вода на длительный период застаивается, формируя бессточную верховодку. На болотах избыточная увлажненность и характер ее формирования зависят от строения ложа болота (пологое или крутое), прилегающих склонов, которые влияют на интенсивность водно-минерального питания болотных вод.

Традиционно сток на дренированных территориях рассматривается как состоящий из дренажного и поверхностного. В условиях равнинного и слаборазвитого рельефа суммарный поверхностный сток на дренированных землях обычно незначительный и составляет в среднем 10...15 % от общего стока [7]. На землях с холмистым рельефом он значительно больше.

Поверхностный сток наблюдается в период весеннего половодья и зимних оттепелей, а также во время летних паводков. Поэтому необходимо отдельно рассматривать поверхностный сток талых вод и поверхностный сток ливневых осадков, поскольку условия образования поверхностного стока имеют значительные принципиальные отличия.

Коэффициент поверхностного стока талых вод со склонов значительно больше, чем по всему бассейну. Сток со склонов, как правило, перехватывается нагорно-ловчими каналами или попадает на низменные формы рельефа, которые осушаются гончарным дренажем, поэтому часть поверхностного стока талых вод через щели в мерзлом грунте проникает в дрены и образует дренажный сток. В результате значение коэффициента поверхностного стока талых вод по всему бассейну ниже.

В большинстве случаев критическим периодом для осушительных систем считается весна. За это время осушительные системы должны не только вовремя отвести поверхностные талые воды, но и обеспечить к началу полевых работ определенное понижение УГВ.

Однако при выборе расчетного года в переменных рельефных условиях нельзя не учитывать поверхностный сток, который формируется после выпадения сильных дождей как в летний, так и в осенний периоды.

Основной задачей мелиоративных мероприятий в западных областях Украины было понижение УГВ с целью полного регулирования водного режима территории. На основании существующей практики эксплуатации осушительных систем уровневый режим грунтовых вод является результирующим количественным выражением факторов, обуславливающих формирование гидрогеолого-мелиоративной обстановки. Теоретические и методические основы изучения режима грунтовых вод изложены в трудах М. Е. Альтовского, Э. А. Зальцберга, Б. С. Маслова, М. Ф. Козлова и др. [4, 19, 26].

Современное состояние и перспективы развития осушительных мелиораций в зоне избыточного увлажнения Украины убедительно свидетельствуют о том, что проблема экологизации мелиоративного производства прежде всего тесно связана с проблемой оптимизации мелиоративного режима осушаемых земель. При этом необходимо учитывать рельеф местности, поскольку именно он в конечном итоге может определять общий эколого-экономический эффект от реализации мелиоративных мероприятий на осушаемых землях с развитым рельефом.

20.2. Оценка неравномерности рельефа в проектах строительства и реконструкции осушительных систем

Как показывают результаты теоретических исследований, а также накопленный опыт и практика создания и функционирования мелиоративных систем в зоне избыточного увлажнения, учет в недостаточной степени неравномерности рельефа в существующих методах проектирования и расчета мелиоративных систем является одной из причин недостижимости проектной эффективности мелиорации земель с развитым рельефом местности [13].

Морфометрические характеристики рельефа [7, 36] определяют высотные, линейные и площадные показатели. Поэтому для оценки неравномерности рельефа местности необходимо пользоваться такими характеристиками, как высотные изменения территории, плотность горизонталей, уклон и длина склона, площадь и количество локальных повышений или понижений территории.

Каждую форму рельефа можно представить в виде геометрического тела, ограниченного характерными точками и линейными элементами. И хотя реально ни одна из форм рельефа (за очень редким исключением) не имеет четких геометрических очертаний, определения отдельных элементов «геометризованных» форм является едва ли не единственным путем к количественным оценкам земной поверхности и отдельных ее участков и имеет чрезвычайно важное практическое значение.

В природе геоморфологический анализ отдельных форм рельефа [7, 36] чаще всего начинают с самого простого – нахождения особенностей поверхности (граней), ограничивающих эту форму.

Кроме общих параметров таких поверхностей, особое значение придается их наклону к горизонтальной плоскости, в связи с чем все поверхности разделяют на субгоризонтальные (с углами уклона менее 2°) и склоны (угол уклона более 2°). По форме различают поверхности ровные, вогнутые и выпуклые.

По размерам форм рельефа различают: мегарельеф, макрорельеф, мезорельеф, микрорельеф, нанорельеф. По типу рельефообразования и превышению над базисом денудации – горы, холмы, равнины, в том числе низменности. По форме поверхности равнины различают горизонтальные, наклонные, вогнутые и выпуклые. По форме рельефа равнины делятся на плоские, ступенчатые, волнистые, холмистые и т. д. На основе морфометрических показателей (абсолютные высоты, относительные высоты, глубина и густота расчленения, крутизна склонов) рельеф может классифицироваться по густоте горизонтального расчленения, глубине вертикального расчленения, крутизне земной поверхности и т. п.

Мезорельеф (от греч. – средний, промежуточный рельеф) – формы рельефа, промежуточные по размерам между формами макрорельефа и микрорельефа, их площадь измеряется несколькими или десятками квадратных километров. Образование мезорельефа обусловлено преимущественно экзогенными (внешними) процессами. Примером мезорельефа на территории Украины являются конечно-моренные гряды, долины проходные водно-ледниковые ледниковой зоны, в Украинских Карпатах и Крымских горах – отдельные хребты, на всей территории – долины малых рек, овраги, балки; эти формы продолжают образовываться и развиваться, в частности под влиянием антропогенных факторов.

Микрорельеф (от греч. – малый и рельеф) – небольшие формы рельефа, образованные экзогенными (внешними) процессами на поверхности макрорельефа и мезорельефа. На территории Украины присущи определенным районам микроформы, образованные под влиянием преобладающих рельефообразующих процессов и в значительной мере – геологического строения. В частности, в процессе денудации образовались гривы на слоистых толщах Донецкой возвышенности, останцы на кристаллических породах Приднепровской, Приазовской, Подольской возвышенностей, суффозии и просадки – блюдца степные и поды на лессовых породах Приднепровской и Причерноморской низменностей, карстовых процессов – воронки карстовые на растворимых породах Прикарпатья, Закарпатской низменности, Подольской возвышенности, Крымских гор и др. Среди аккумулятивных микроформ – многочисленные конусы выноса в устьях оврагов и балок, деллювиальные шлейфы у подножия гор и возвышенностей, сугробы на песчаных террасах Днепра, отдельные песчаные холмы на водно-ледниковых равнинах Полесья и т. д.

Нанорельеф (от греч. «нанос» – карлик) – мелкие формы рельефа высотой до нескольких десятков сантиметров. Образуются в результате суффозионно-карстовых, термокарстовых, мерзлотных, эрозийных, эоловых и почвообразующих процессов, а также в результате жизнедеятельности животных и человека.

Характерной особенностью формирования водного режима осушаемых земель с развитым рельефом является образование поверхностного стока и изменение УГВ в пределах мелиорируемого поля, что должно быть обязательно учтено в проектах нового строительства и реконструкции осушаемых систем.

В состав мероприятий по организации и ускорению отвода поверхностного стока входят: строительство защитной сети, открытых осушителей, водопоглощающих сооружений и закрытых собирателей, выравнивание поверхности и устройство водоотводных искусственных котловин.

Как правило, осушительные системы проектируются в поймах рек. Рельеф пойм характеризуется как равнинный с небольшими уклонами или без уклонов, а также могут быть присутствовать локальные понижения или повышения.

Постоянные водотоки (ручьи, реки) образуют самые распространенные и самые выразительные формы рельефа во всех частях суши, а в условиях влажного климата формируют своеобразный до-

линейный комплекс поверхности, основу которого составляют речные долины и водоразделы между ними.

Речные долины – это образованные реками линейные отрицательные корытообразные формы рельефа, для которых характерен уклон от истоков до устья. Речные долины в горах отличаются значительными глубинами врезания (иногда до 1,0–1,5 км), а на равнинах – шириной, исчисляемой километрами (в отдельных случаях – десятками километров). Различия в форме и особенностях строения речных долин зависят от многих факторов, среди которых: масса и скорость потока воды, высотное расположение базисов эрозии, геологическое строение и структурные особенности территории, направление и интенсивность новейших и современных тектонических движений и т. п. Во всех случаях речные долины являются результатом комбинированного проявления эрозионной и аккумулятивной деятельности потока, хотя соотношение между этими двумя главными направлениями работы постоянно меняется как во времени, так и в пространстве.

Пойма – это прилегающая к руслу и покрытая растительностью часть дна речной долины, во время наводнения затапливаемая водой. Поймы образуются почти на всех постоянных водотоках, и лишь отдельные участки речных долин не имеют внятных пойм (пороги, водопады, ущелья и т. п.). Высота поймы зависит от высоты уровня паводковых вод и постепенно уменьшается вниз по течению реки. Значительную роль в формировании пойм играют и процессы боковой эрозии, которая тоже активизируется во время прохождения высоких вод наводнений и паводков.

Геологическую основу пойм составляет особый тип отложений – пойменный аллювий, который, в отличие от руслового (преимущественно пески, иногда с гравием и галькой), представлен на равнинных реках супесью и суглинками, переслаивающимися с горизонтами ископаемых почв (последние формируются в маловодные годы).

Мощность аллювиальных отложений на пойме меняется в широком диапазоне, но в обычных условиях она не может превышать разницы высот между максимальным уровнем наводнения и наиболее низким (межень) уровнем воды в русле. Поэтому согласно существующей морфометрической классификации [36] рельеф местности на осушаемых землях по размеру отдельных форм в пределах определенного мезорельефа можно представить сочетанием микроформ и наноформ.

Согласно [35] по морфологическим признакам микрорельеф локальных понижений делится на следующие разновидности: *малые* – до 25 м в сечении, *средние* – до 75 м в сечении и *крупные* – до 200–300 м в сечении.

Основными линейными показателями [10, 36], характеризующими условия формирования рельефа местности, выступают уклон поверхности земли (i) и перепады поверхности земли: общий (ΔH_{gi}), по уклону (ΔH_i) и в локальных повышениях или понижениях ($\pm \Delta h_g$).

На основании обобщения, анализа и систематизации рельефных условий 32 проектов реальных объектов, расположенных в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения Украины, нами выделено и предлагается рассматривать основные четыре схемы их формирования по уклонам и перепадам поверхности земли (рис. 20.1):

а) $i = 0$, $\Delta H_i = 0$, $\Delta h_g = 0$ – отсутствие уклонов и перепадов поверхности земли (базовые условия);

б) $i = 0$, $\Delta H_i = 0$, $\Delta h_g \neq 0$ – отсутствие уклонов и наличие локальных перепадов поверхности земли (локальные понижения или повышения);

в) $i \neq 0$, $\Delta H_i \neq 0$, $\Delta h_g = 0$ – наличие уклонов и перепадов по уклонам, отсутствие локальных перепадов поверхности земли;

г) $i \neq 0$, $\Delta H_i \neq 0$, $\Delta h_g \neq 0$ – наличие уклонов, перепадов по уклонам и локальных перепадов поверхности земли.

Характерной особенностью формирования водного режима осушаемых земель в таких условиях является образование поверхностного стока, неравномерность распределения влаги в зоне аэрации и изменение баланса грунтовых вод. Эта особенность должна быть обязательно учтена в модели долгосрочного прогноза водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель и в дальнейшем при реализации модели по оптимизации типа и конструкции осушительных систем [28].

Таким образом, схематизация рельефных условий осушаемых земель позволяет усовершенствовать существующую модель долгосрочного прогноза водного режима и технологий водорегулирования, которая учитывает поверхностный сток в балансе расчетного слоя почвы и баланс грунтовых вод с различным уровнем их залегания в пределах каждой выделенной рельефной единицы осушаемого массива.

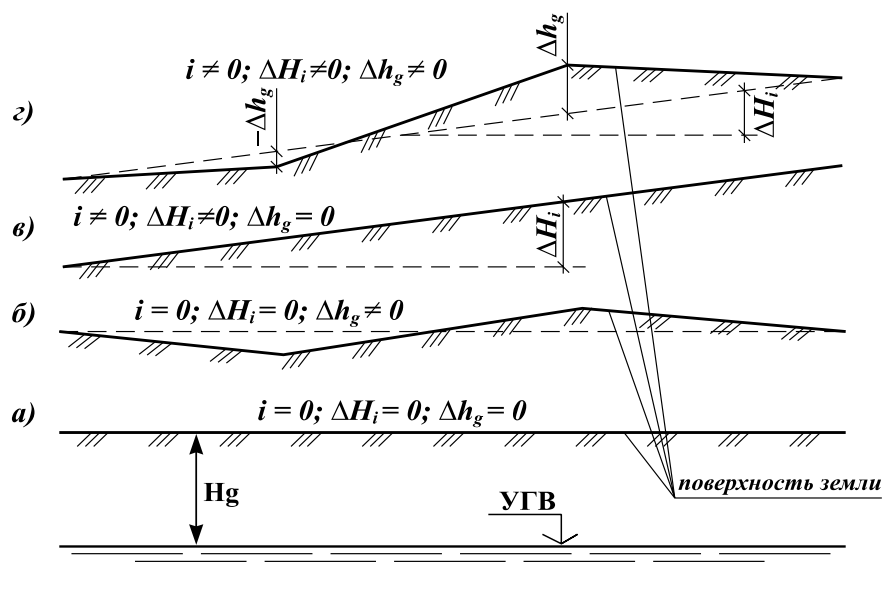


Рис. 20.1. Основные расчетные схемы рельефа осушаемых земель

20.3. Совершенствование существующей модели прогнозной оценки водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель с учетом развитости рельефа местности

20.3.1. Модель водного режима осушаемых земель с учетом развитого рельефа. Модель водного режима и технологий водорегулирования входит необходимой составляющей в комплекс разрабатываемых прогнозно-оптимизационных моделей и играет чрезвычайно важную роль, поскольку сочетает в себе параметры режимов и параметры технологий, а потому является тем необходимым связующим звеном между параметрами эффекта и параметрами конструкций при обосновании проектных решений на эколого-экономической основе [29 и др.].

На стадии проектирования необходимо выполнять оценку неравномерности рельефа осушаемых массивов, которая, в свою очередь, влияет на формирование неравномерности водного режима осушаемых земель. На основе особенностей формирования водного режима следует дифференцированно определять площади осушаемого массива, на которых мелиоративная система будет работать в режиме осушения, предупредительного шлюзования или подпочвенного увлажнения и соответственно формировать различный водный режим.

Формирование необходимого водного режима на проектируемой или реконструированной осушительной системе требует реализации комплекса природно-техногенных условий.

По аналогии с [29] их можно представить системой вида

$$\begin{aligned} \text{рельеф } (\Delta H_{gi}, i) &\Leftrightarrow \text{водный режим (режим влажности, } WPh); \\ \text{режим УГВ, } Hg &\Leftrightarrow \text{урожай } (Y) \end{aligned} \quad (20.1)$$

в которой действуют факторы:

ΔH_{gi} – перепад уровней поверхности земли;

i – уклон поверхности;

WPh – продуктивные влагозапасы расчетного корнеобитаемого слоя почвы;

Hg – глубина УГВ;

Y – продуктивность осушаемых земель.

В целях продолжения исследований, начатых в Украине для зоны избыточного и неустойчивого увлажнения, кафедрой гидромелиораций НУВХП были разработаны научные принципы, методы и модели оптимизации технических и технологических решений по водорегулированию осушаемых земель при строительстве, реконструкции и эксплуатации мелиоративных объектов, которые эффективно работают при малых уклонах рельефа местности до 0,001 [29, 41, 45 и др.]. Поэтому в развитие существующих подходов к реализации модели оптимизации типа и конструкции гидромелиоративной системы на осушаемых землях с развитым рельефом местности необходимо разработать соответствующую модель, которая будет учитывать такие особенности и иметь определенные отличия от уже существующих методик.

Таким образом, в отличие от базовой модели водного режима [29] модель прогнозной оценки на долгосрочной основе водного режима мелиорируемого поля на осушаемых землях с учетом рельефа местности основывается на реализации системы уравнений: «простого» уравнения водного баланса расчетного слоя почвы (РСП) $h = 0,5 \text{ м}$ с учетом поверхностного стока при появлении уклона поверхности и уравнения баланса УГВ.

Сравнительные расчетные схемы водного баланса РСП для равнинного рельефа ($i \approx 0$) и рельефа с уклоном ($i \neq 0$) приведены на рисунке 20.2.

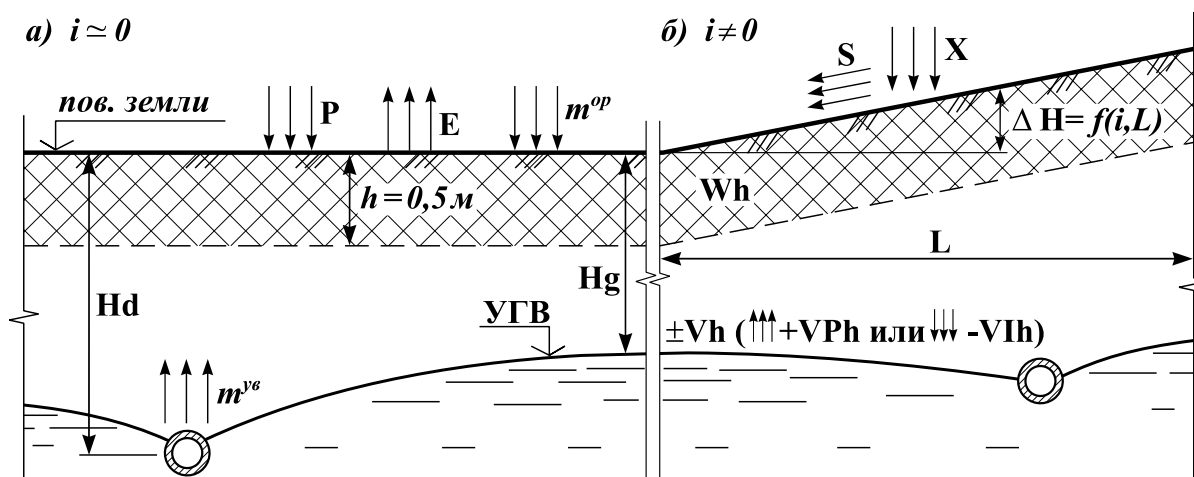


Рис. 20.2. Сравнительные расчетные схемы модели водного режима осушаемых земель безуклонного рельефа и с учетом неравномерности рельефа

Для принятой структуры расчетов и заданного шага дискретизации τ , $\tau = \overline{1, n_\tau}$ (пентада, неделя, декада – согласно реализации модели метеорологических режимов) данная модель имеет такой общий вид

$$\begin{cases} Wh_\tau = Wh_{\tau-1} + P_\tau - E_\tau \pm Vh_\tau + m_\tau, & \tau = 1, n_\tau, \quad \text{м}^3/2a; \\ Hg_\tau = Hg_{\tau-1} \pm \Delta Hg, & \tau = 1, n_\tau, \quad \text{м}, \end{cases} \quad (20.2)$$

где

$$Hg_\tau = f(Hd, \pm \Delta Hg_\tau), \quad (20.3)$$

$$\pm \Delta Hg_\tau = f(\pm Vh_\tau), \quad (20.4)$$

$$\pm Vh_\tau = f(\overline{Hg}_{gsp}, \pm \Delta H_{gi}, EV_\tau, P_\tau), \quad (20.5)$$

где Wh_τ , $Wh_{\tau-1}$ – соответствующие запасы продуктивной влаги РСП на конец расчетных текущего τ и предыдущего ($\tau - 1$) интервалов времени при заданном начальном значении Wh_0 ;

P_τ – эффективные осадки за время τ ;

E_τ – соответствующая величина суммарного испарения;

Vh_τ – величина влагообмена РСП h с нижерасположенными слоями и УГВ в виде подпитывания (+) Vh_τ или инфильтрации (–) Vh_τ ;

m_τ – поливная норма при соответствующем способе увлажнения;

Hg_τ , $Hg_{\tau-1}$ – глубина залегания УГВ на конец расчетных текущего τ и предыдущего ($\tau - 1$) интервалов времени;

Hd – глубина заложения дрен;

ΔHg_τ – изменение УГВ;

\overline{Hg}_{gsp} – нормированная средневегетационная глубина УГВ в зависимости от вида грунта, способа водорегулирования и влагообеспеченности расчетного вегетационного периода p ;

ΔH_{gi} – общий перепад поверхности земли;

EV_{τ} – потенциальная величина суммарного испарения.

Модель (20.2), как и базовая модель для безуклонного рельефа [29], описывает квазистационарный процесс, когда все изменения исследуемого сложного явления происходят мгновенно в конце расчетного периода времени τ . Она, в принципе, позволяет выполнять водобалансовые расчеты при моделировании в динамике изменения водного режима и определяющих его составляющих на мелиорируемом поле в пределах мелиоративной системы для возможных переменных множественных условий по совокупностям: метеостанций и постов $\{\omega\}$, $\omega = \overline{I, n_{\omega}}$; расчетных по влагообеспеченности периодов вегетации $\{p\}$, $p = \overline{I, n_p}$; видов распространенных осушаемых почв $\{g\}$, $g = \overline{I, n_g}$; проектных видов выращиваемых культур $\{k\}$, $k = \overline{I, n_k}$; возможных способов водорегулирования осушаемых земель $\{s\}$, $s = \overline{I, n_s}$ и т. п. При этом природно-мелиоративные условия должны рассматриваться как усредненные за счет типизации и схематизации метеорологических режимов, а также возможных способов водорегулирования осушаемых земель.

Сложности реализации такой модели расчетного слоя почвы согласно [30, 41] начинаются, во-первых, с технической возможности реализации очень большого объема прогнозных расчетов, обусловленных необходимостью рассмотрения многочисленных переменных параметров, влияющих на условия формирования водного режима осушаемых земель, а во-вторых, необходимости наличия достаточно надежных и эффективных методов определения составляющих уравнения водного баланса и требующегося для этого информационного обеспечения.

Что касается первого, то, как мы уже отмечали, с появлением современных быстродействующих ЭВМ проблема времени выполнения расчетов практически отпадает. Что касается второго, то расчет водного баланса по совокупности приходных и расходных элементов влаги в их динамике и взаимосвязи, даже при относительно «простом» виде уравнения (20.2), является достаточно сложным. Все это обусловило необходимость применения на практике как в зоне оросительных, так и осушительных мелиораций упрощенных подходов к реализации балансовых уравнений при выполнении прогнозных расчетов на долгосрочной основе.

В рамках балансового уравнения (20.2) выполняется не просто суммирование жестко заданных, возможных (климатически обеспеченных) значений его составляющих, как это преимущественно делалось до сих пор, а, исходя из определенных закономерностей, рассчитывается процесс формирования водного режима на основе взаимосвязи и взаимообусловленности его элементов на границах и в увязке с процессом перераспределения влаги внутри активного слоя почвы относительно его влагосодержания и аккумулирующей способности.

Такой подход позволяет определить действительно возможные (эффективные) значения величин суммарного испарения EP_{τ} (в том числе и его транспирационной составляющей ET_{τ}), влагообмена активного слоя почвы в виде питания VPh_{τ} или инфильтрации Vlh_{τ} , расхода воды m_{τ} при необходимости увлажнения осушаемых земель соответствующим образом и, наконец, величины эффективных влагозапасов почвы в пределах расчетного интервала времени $\tau - \overline{WPh}_{\tau}$.

Практическая реализация модели водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель должна базироваться на использовании предварительно полученных результатов реализации соответствующих моделей прогноза метеорологических условий местности (типовое распределение метеофакторов) [20] и развития выращиваемых сельскохозяйственных культур (фазы их развития в онтогенезе) [23], исходных данных по выполненной схематизации и параметризации способов водорегулирования осушаемых земель при различных природно-мелиоративных условиях, а сама модель рассматривается и реализуется в несколько этапов (определение как возможных, так и эффективных значений составляющих водного режима и водного баланса) аналогично базовой модели.

На первом этапе, при фиксированных значениях множественных переменных условий объекта относительно $\{\omega\}$, $\omega = \overline{I, n_{\omega}}$; $\{g\}$, $g = \overline{I, n_g}$; $\{k\}$, $k = \overline{I, n_k}$; $\{s\}$, $s = \overline{I, n_s}$; $\{p\}$, $p = \overline{I, n_p}$ определяются потенциально возможные (климатически обоснованные) значения составляющих модели РСП, рассматривается и реализуется такая исходная модель водного режима

$$Wh_{\tau} = WPh_{\tau-1} + P_{\tau} - EV_{\tau} + VVh_{\tau}, \quad \tau = \overline{I, n_{\tau}}, \quad (20.6)$$

при начальном условии: $WPh_0 = WPh_g^0$ (где WPh_g^0 – исходный запас продуктивной влаги соответствует предельной полевой (наименьшей) влагоемкости РСП h соответствующего вида грунта g в пре-

делах мелиорируемого поля) $Vh_\tau = VVh_{s\tau}$; $m_{s\tau} = 0$. Это вполне справедливо, поскольку водобалансовые расчеты начинаются с апреля месяца любого расчетного периода вегетации, когда влагозапасы осушаемой почвы находятся в оптимальных пределах. При этом по результатам расчетов по исходной модели (20.2) величина Wh_τ может принимать любые значения (то есть $0 \leq Wh_\tau \leq WPh_g^0$; $Wh_\tau < 0$; $Wh_\tau > WPh_g^0$), Но тогда она не всегда (в двух крайних случаях) характеризует эффективные значения влагозапасов из-за нарушения физического смысла изучаемого явления.

Поэтому на втором этапе осуществляется определение их эффективных значений через соответствующие корректирующие коэффициенты методом последовательной итерации (т. е. соответствующей очередности приближения):

- $VVh_\tau \rightarrow Vh_\tau$, когда на первом этапе получаем $Wh_\tau > WPh_g^0$;
- $VVh_\tau \rightarrow VPh_\tau$ или определяются значения $m_{s\tau}$ при соответствующем способе увлажнения осушаемых земель, когда $Wh_\tau < WPh_g^0$, и, тем более, когда $Wh_\tau \leq 0$;
- $Wh_\tau \rightarrow WPh_\tau$ относительно средних запасов влаги \overline{WPh}_τ и аккумулирующей емкости $(WPh_g^0 - \overline{WPh}_\tau) / WPh_g^0$ РСП в пределах расчетного периода времени $\Delta\tau$.

Данный подход применяется для определения действительно возможных (эффективных) значений всех составляющих уравнения (20.2), и в первую очередь для определения эффективной величины продуктивных влагозапасов РСП, что позволяет спрогнозировать и адекватно оценить водный режим осушаемых земель в различных природно-мелиоративных условиях. Так что на третьем, заключительном этапе рассматривается и реализуется такая окончательная модель водного режима

$$WPh_\tau = WPh_{\tau-1} + P_\tau - EP_\tau + VPh_\tau + m_\tau, \tau = \overline{1, n_\tau}. \quad (20.7)$$

Тогда при обязательном соблюдении требований в любых текущих природно-мелиоративных условиях будет получено

$$0 \leq WPh_\tau \leq WPh_g^0. \quad (20.8)$$

Таким образом, достигается более точное решение балансового уравнения, положенного в основу модели, не нарушается физический смысл такого сложного явления, как водный режим осушаемых земель и природно-мелиоративные факторы, обуславливающие его.

20.3.2. Исходные климатические составляющие. Климатические или метеорологические (погодные) условия имеют определяющее влияние на формирование водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, технологические и технические решения по их водорегулированию. Поэтому климатические составляющие уравнения водного баланса, положенные в основу построения и реализации модели водного режима, такие как осадки, непосредственно входящие в водобалансовые расчеты, а также температура и относительная влажность (или дефицит влажности) воздуха, с помощью которых определяются потенциально возможные значения суммарного испарения и производной от нее величины подпитывания активного слоя почвы, задаются и определяются в соответствии с уровнем реализации разработанных нами моделей метеорологических режимов на долгосрочной основе в виде типового распределения основных метеофакторов за расчетные промежутки времени $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ (декада, неделя, пентада) расчетных по влагообеспеченности вегетационного периода $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ в зависимости от наличия или отсутствия у потребителя базы данных многолетних наблюдений [20, 29, 38 и др.].

20.3.3. Суммарное испарение. Данные о водопотреблении сельскохозяйственных культур в разные периоды их развития в зависимости от имеющихся погодных условий являются основой разработки проектных и формирования эксплуатационных режимов водорегулирования путем выбора и обоснования необходимых способов водорегулирования, типов, конструкций и режимов работы ГМС, расчета их параметров.

При реализации исходной модели водного режима (20.6) потенциальная величина суммарного испарения $EV_{окр\tau}$ может быть определена по следующей общей формуле [29, 38 и др.]

$$EV_{окр\tau} = f_{k\tau} \cdot ETV_{окр\tau} + (1 - f_{k\tau}) \cdot EGV_{окр\tau}, f_{k\tau} \leq 1, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.9)$$

где: $f_{k\tau}$ – характеристика степени проектного покрытия мелиорируемого поля выращиваемой k -й культурой, определяется из соотношения $f_{k\tau} = a_{n\tau} / a_n^k$ (здесь $a_{n\tau}$ – согласно наблюдениям в расчетное время τ степень покрытия поля растениями; $a_n^k = 0,6$ – критическая его величина, начиная с которой можно пренебречь влиянием на суммарное испарение $EV_{окр\tau}$ его составляющей части – испарения с поверхности почвы (эвапорации) $EGV_{оп\tau}$);

$ETV_{окр\tau}$ – потенциальная величина транспирационной составляющей суммарного испарения.

По В. П. Остапчику [24] транспирационная составляющая

$$ETV_{окр\tau} = 10 \cdot k_{\delta(E^0)_{k\tau}} \cdot E_{оп\tau}^0, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.10)$$

где $k_{\delta(E^0)_{k\tau}}$ – биологический коэффициент суммарного испарения как функция испаряемости E^0 изменяющейся во времени по фазам развития k -й культуры по τ ;

$E_{оп\tau}^0$ – испаряемость за расчетный срок τ , определяемая по общеизвестной формуле Н. Н. Иванова [5].

Соответственно величина эвапорации

$$EGV_{оп\tau} = 10 \cdot E_{оп\tau}^0, \text{ м}^3/\text{га}. \quad (20.11)$$

Тогда окончательно, с учетом (20.10) - (20.11)

$$\begin{aligned} EV_{окр\tau} &= f_{k\tau} \cdot 10 \cdot k_{\delta(E^0)_{k\tau}} \cdot E_{оп\tau}^0 + (1 - f_{k\tau}) \cdot 10 E_{оп\tau}^0 = \\ &= 10 E_{оп\tau}^0 \left[1 - f_{k\tau} \left(1 + k_{\delta(E^0)_{k\tau}} \right) \right], \text{ м}^3/\text{га}. \end{aligned} \quad (20.12)$$

Поскольку реализация потенциальной (климатически обеспеченной) величины EV обусловлена практически только имеющимся влагосодержанием почвы, эффективное ее значение может быть определено как

$$EP_{огксп\tau} = EV_{окр\tau} \cdot \lambda_{огксп\tau}^W, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.13)$$

где $\lambda_{огксп\tau}^W$ – коэффициент, аналогичный по своему содержанию коэффициенту редукиции (по В. П. Остапчику), что определяет эффективность реализации потенциального испарения относительно имеющегося влагосодержания активного слоя почвы.

Эффективное значение суммарного испарения при любых природно-агромелиоративных условиях должен варьировать в пределах

$$0 < EP_{огксп\tau} \leq EV_{окр\tau}. \quad (20.14)$$

Предложенный метод позволяет определять потенциальное (климатически обеспеченное) суммарное испарение EV и эффективное (относительно имеющихся влагозапасов в почве) его значение EP при реализации модели водного режима осушаемых земель в переменных природно-мелиоративных условиях.

20.3.4. Влагообмен. Определение потенциально возможного и эффективного значения влагообмена активного слоя почвы с нижерасположенными слоями и УГВ является наиболее сложным и, пожалуй, ключевым вопросом реализации балансовой модели водного режима осушаемых земель, поскольку именно эта величина весьма существенно влияет практически на все другие составляющие модели и их эффективную реализацию.

Исходя из принятой структуры прогнозных расчетов по моделям водного режима нами апробирована и предлагается для использования такая зависимость для определения потенциальной величины подпитывания РСП с нижележащих слоев и УГВ VWh с учетом изменчивых природно-агромелиоративных условий по соответствующим показателям индексов (как и при рассмотрении суммарного испарения), основанная на общепризнанной модели С. И. Харченко [43]

$$VWh_{огксп\tau} = 10 \cdot EV_{огксп\tau} \cdot e^{-m_{hg} \bar{H}g_{gsp}}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.15)$$

где $EV_{огксп\tau}$ – потенциальное (климатически обеспеченное) суммарное водопотребление, мм;

e – основание натурального логарифма;

m_{hg} – коэффициент, учитывающий влияние определенных почвенных условий g и переменного в онтогенезе k -й культуры корнеобитаемого слоя почвы h ;

$\bar{H}_{g\ gsp}$ – нормированная средневегетационная глубина УГВ в зависимости от вида почвогрунта g , способа водорегулирования s и влагообеспеченности расчетного вегетационного периода p , м.

На основании анализа многочисленных данных других авторов и нормативно-справочных источников, а также выполненной схематизации и параметризации имеющихся способов водорегулирования осушаемых земель в различных природно-мелиоративных условиях были получены усредненные нормированные значения $\bar{H}_{g\ gsp}$ и соответствующие средние значения характеристики m_{hg} для РСП $h = 0,5$ м относительно вида почвогрунта g в зависимости от его гранулометрического состава:

- для глины $m_{hg} = 1$;
- суглинка $m_{hg} = 1,4$;
- супеси $m_{hg} = 1,8$;
- песка $m_{hg} = 2,2$;
- торфа $m_{hg} = 1,5$.

Эти характеристики при необходимости достаточно легко могут быть уточнены в процессе идентификации модели (20.15) для условий исследуемого реального объекта.

В прогнозных расчетах водного режима по моделям (20.6) и (20.7) режим УГВ рассматривается в течение вегетационного периода расчетной влагообеспеченности как соответствующий фон, что значительно упростило структуру расчетов, практически не изменяя их содержание, а главное, их точность.

Таким образом, модель (20.15) может быть представлена в виде

$$VVh_{огksp\tau} = a_{gsp}^V \cdot EV_{окp\tau}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.16)$$

где

$$a_{gsp}^V = e^{-m_{hg}\bar{H}_{g\ gsp}}, \quad (20.17)$$

а $EV_{окp\tau}$ определяется по модели (20.12).

Значения показателя a_{gsp}^V могут быть несложно определены по рекомендованным нормированным значениям m_{hg} и $\bar{H}_{g\ gsp}$ для различных видов осушаемых почв g при различных природно-мелиоративных условиях (способов водорегулирования s и расчетных вегетационных периодов p) при выполнении водобалансовых расчетов на долгосрочной основе. Потенциально возможная величина $VVh_{огksp\tau}$, определенная по (20.16), должна быть откорректирована до его эффективного (действительно возможного) значения $VPh_{огksp\tau}$ с учетом реального соотношения между приходными и расходными составляющими уравнения водного баланса относительно аккумулирующей емкости РСП (рис. 20.2) по следующим основным схемам (при этом оставим в дальнейших обозначениях только переменную τ с целью упрощения изложения необходимых соображений).

Для всех возможных способов водорегулирования осушаемых земель в случае, когда после реализации исходной модели (20.6) получаем значение $Wh_{\tau} > WPh_{g}^0$, принимаем $Wh_{\tau} = WPh_{g}^0$.

В таком случае эффективное значение влагообмена определится как

$$VPh_{\tau} = WPh_{g}^0 - WPh_{\tau-1} - P_{\tau} + EV_{\tau}, \text{ м}^3/\text{га}. \quad (20.18)$$

Тогда, если по (20.18) получаем $VPh_{\tau} > 0$, то в балансовой модели (20.6) происходит трансформация $VVh_{\tau} \rightarrow VPh_{\tau}$. А если $VPh_{\tau} < 0$, то $VVh_{\tau} \rightarrow Vlh_{\tau}$, что имеет место, как правило, когда $P_{\tau} > (Wh_{\tau} + EV_{\tau})$ и возникает инфильтрация осадков за РСП.

Во всех остальных случаях, когда $0 \leq Wh_{\tau} \leq WPh_{g}^0$ или $Wh_{\tau} < 0$, эффективное значение влагообмена в виде питания РСП может быть определено по формуле

$$VPh_{\tau} = k_{\tau}^V \cdot VVh_{\tau}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.19)$$

где k_{τ}^V – корректирующий коэффициент, определяемый через следующее балансовое соотношение

$$k_{\tau}^V = \frac{WPh_{g}^0 - Wh_{\tau}}{WPh_{g}^0} = \frac{WPh_{g}^0 - (WPh_{\tau-1} + P_{\tau} - EV_{\tau} + VVh_{\tau} + m_{\tau})}{WPh_{g}^0}, \quad (20.20)$$

где m_τ вводится только при применении орошения дождеванием на осушаемых землях. При этом при любых условиях должно быть соблюдено требование о том, что

$$VPh_\tau \leq EP_\tau, \quad (20.21)$$

где EP_τ – эффективное значение суммарного водопотребления.

20.3.5. Поливные нормы. Поливные нормы при реализации увлажнительных мероприятий на мелиорированных землях вообще как в зоне орошения, так и в зоне осушения также выступают как сложная характеристика, определяются и зависят от большого количества факторов: природно-климатических, агротехнических, почвенно-мелиоративных условий местности, техники увлажнения и т. п.

Определение *рациональных* (экономически и экологически обоснованных) поливных и увлажнительных норм и режимов увлажнения мелиорированных земель осуществляется следующим образом. При применении орошения дождеванием на осушаемых землях величина поливной нормы нетто зависит от величины РСП, имеющихся метеорологических условий, гранулометрического состава почвы, вида и фазы развития выращиваемой культуры, типа используемой дождевальной техники и составляет $m_\tau^{op} = 200 \dots 400 \text{ м}^3/\text{га}$.

При отсутствии каких-либо ограничений на количество и качество поливной воды поливы всегда назначаются, когда $Wh_\tau \leq 0$, а также необходимо предусматривать возможность их назначения, когда $0 < Wh_\tau < WPh_g^0$ при условии, что $m_\tau^{op} \leq (WPh_g^0 - Wh_\tau)$.

При этом величину поливной нормы нетто рекомендуется определять, по сравнению с тем, когда m_τ^{op} рассматривалась и принималась как постоянная величина в течение расчетного вегетационного периода (т. е. $m_\tau^{op} = \text{const}$), более гибким расчетным путем из общего балансового уравнения (20.6)

$$m_\tau^{op} = WPh_g^0 - Wh_\tau = WPh_g^0 - (WPh_{\tau-1} + P_\tau - EV_\tau + VWh_\tau), \text{ м}^3/\text{га}. \quad (20.22)$$

Она должна соответствовать требованию

$$m_{min}^{op} \leq \tilde{m}_\tau^{op} \leq m_{max}^{op}, \quad (20.23)$$

где m_{min}^{op} , m_{max}^{op} – соответственно минимально и максимально возможные величины поливной нормы для заданной дождевальной техники с учетом почвенных и рельефных условий мелиорируемого поля;

\tilde{m}_τ^{op} – поливная норма брутто при орошении дождеванием

$$\tilde{m}_\tau^{op} = m_\tau^{op} \cdot \eta^{op}, \quad (20.24)$$

где η^{op} – КПД орошения осушаемых земель, ориентированные значения по результатам проведенных исследований.

Когда $\tilde{m}_\tau^{op} \leq m_{min}^{op}$, то в дальнейших расчетах принимаем $m_\tau^{op} = 0$.

Если же $\tilde{m}_\tau^{op} > m_{max}^{op}$, тогда назначаются несколько поливов n_τ^m в течение расчетного срока при условии, что

$$n_\tau^m = \frac{2 \tilde{m}_\tau^{op}}{m_{min}^{op} + m_{max}^{op}}, \quad (20.25)$$

где определенное количество поливов округляется до целых значений.

Определенная по формулам (20.24)–(20.25) необходимая и технически возможная окончательная величина поливной нормы при орошении дождеванием может рассматриваться и как эффективная величина, поскольку не имеет никаких других ограничений для ее реализации.

Что же касается определения поливной нормы при подпочвенном увлажнении путем шлюзования m_τ^{ys} , то общепринятый подход по выражению (20.22) нельзя считать эффективным, поскольку при этом дефицит влагозапасов РСП покрывается за счет его питания с нижерасположенных слоев и УГВ, величина которого, как показывает практика, ограничивается водно-физическими свойствами почвы и УГВ.

При этом она включает в себя несколько составляющих

$$m_\tau^{ys} = m(\Delta Hg)_\tau + m(\Delta Wh)_\tau, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.26)$$

где $m(\Delta Hg)_\tau$ – количество воды, которое необходимо для подъема УГВ при реализации подпочвенного увлажнения с глубины $Hg_{\tau-1}$ до Hg_τ , м³/га;

$m(\Delta Wh)_\tau$ – количество воды, поступающей в РСП за счет подъема и поддержания более высокого соответствующего УГВ, м³/га.

Исходя из принятой структуры реализации прогнозных режимных расчетов на долгосрочной основе и выполненной для этого схематизации способов водорегулирования осушаемых земель при различных природно-мелиоративных условиях эффективное количество воды нетто m_τ^{y6} , необходимой для проведения подпочвенного увлажнения за счет подъема и поддержания соответствующего УГВ за расчетный период времени, может быть определено как разница между эффективной величиной подпитывания РСП VPh_τ^{36} данным способом регулирования и возможной величиной питания, полученной для случая работы регулирующей сети на мелиорируемом поле в режиме предупредительного шлюзования VVh_τ^{nu} или в режиме осушения VVh_τ^{oc} (в зависимости от того, какой из этих способов применялся в предыдущую $\tau - 1$ декаду), т. е.

$$m_\tau^{36} = VPh_\tau^{y6} - VVh_\tau^{nu} \text{ (или } VVh_\tau^{oc} \text{)}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.27)$$

где величины VPh_τ^{y6} , VVh_τ^{nu} , VVh_τ^{oc} определяются по методикам и моделям, рассмотренным ранее.

Общее количество поливной воды при подпочвенном увлажнении (поливная норма брутто) равна

$$\tilde{m}_\tau^{y6} = m_\tau^{y6} \cdot \eta^{y6}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (20.28)$$

где η^{y6} – КПД подпочвенного увлажнения, зависит от почвенных и рельефных условий мелиорируемого поля.

Она также должна соответствовать требованию

$$0 < \tilde{m}_\tau^{y6} \leq m_{max}^{y6}, \quad (20.29)$$

где m_{max}^{y6} – максимальная величина поливной нормы при подпочвенном увлажнении, обусловленная рельефом, почвенными условиями, конструкцией и пропускной способностью регулирующей сети ОУС и ее водообеспеченностью.

При этом если полученное значение $\tilde{m}_\tau^{y6} > m_{max}^{y6}$, то в дальнейших расчетах принимаем $\tilde{m}_\tau^{y6} = m_{max}^{y6}$.

Таким образом, рассмотренные методы и модели позволяют определять как потенциально возможные, обусловленные метеорологическими и агротехническими условиями, так и эффективные (по почвенно-мелиоративным и техническим условиям) величины поливных норм при разработке проектных режимов увлажнения путем применения орошения дождеванием и подпочвенного увлажнения на осушаемых землях.

В свою очередь, наличие модели водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель с учетом рельефа местности позволит повысить обоснованность проектных решений относительно соответствующего типа и конструкции гидромелиоративных систем в проектах их строительства и реконструкции на основе оптимизационных методов с учетом современных экономических и экологических требований [29, 39 и др.].

20.4. Учет величины поверхностного стока в модели водного режима осушаемых земель с учетом степени развитости рельефа местности

Одной из характерных особенностей формирования водного режима осушаемых земель с развитым рельефом местности является образование поверхностного стока, что должно быть обязательно учтено в модели долгосрочного прогноза водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель и в дальнейшем при реализации модели оптимизации типа и конструкции осушительных систем.

Традиционно сток на дренированных территориях рассматривается как состоящий из дренажного и поверхностного. В условиях равнинного и слабо развитого рельефа суммарный поверхностный сток на дренированных землях обычно незначительный и составляет в среднем 10–15 % от общего стока [7]. На землях с холмистым рельефом он значительно больше. Поверхностный сток наблюдается в период весеннего половодья и зимних оттепелей, а также во время летних паводков. Поэтому

необходимо отдельно рассматривать поверхностный сток талых вод и поверхностный сток ливневых осадков, поскольку условия образования поверхностного стока имеют значительные принципиальные отличия.

Коэффициент поверхностного стока талых вод со склонов значительно больше, чем по всему бассейну. Сток со склонов, как правило, перехватывается нагорно-ловчими каналами или попадает на низменные формы рельефа, которые осушаются гончарным дренажем, поэтому часть поверхностного стока талых вод через щели в мерзлом грунте проникает в дрены и образует дренажный сток. В результате значение коэффициента поверхностного стока талых вод по всему бассейну ниже.

В большинстве случаев критическим периодом для осушительных систем считается весна. За это время осушительные системы должны не только вовремя отвести поверхностные талые воды, но и обеспечить к началу полевых работ определенное понижение УГВ. Однако при выборе расчетного года в переменных рельефных условиях нельзя не учитывать поверхностный сток, который формируется после выпадения сильных дождей как в летний, так и в осенний периоды.

На формирование поверхностного стока на мелиорированных землях влияет значительное количество факторов, относящихся как к природным, так и к антропогенным, что отмечалось многими авторами (А. Н. Костяков, С. Ф. Аверьянов, А. Н. Бефани, А. М. Янголь, З. Б. Киндерис, Я. А. Мольчак, М. В. Корбутяк, С. Н. Козишкурт и др.) [1, 3, 7, 15, 22, 45].

К основным природным факторам относятся: гранулометрический состав и водопроницаемость почвы, степень их увлажнения, крутизна и длина склонов, растительный покров, метеорологические условия, степень залесенности и распаханности территории, время года, наличие понижений, болот и т. п. Кроме того, на формирование поверхностного стока существенно влияют антропогенные факторы: агромелиоративные и гидромелиоративные мероприятия, обработка поверхности почвы и сельскохозяйственных культур. Такое множество факторов, влияющих на формирование поверхностного стока, затрудняет точное определение его величины.

Поверхностный сток, который появляется при выпадении осадков, будет расти до некоторого максимума, а затем уменьшаться. Поэтому гидрограф стока традиционно представляет собой график, описывающий характер изменения расхода воды Q в разные периоды времени t (рис. 20.3).

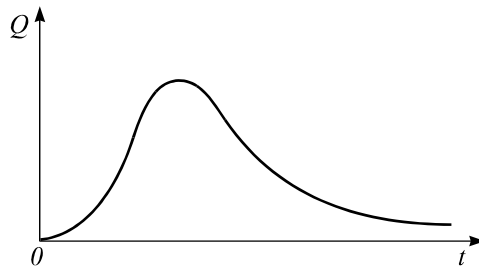


Рис. 20.3. Гидрограф поверхностного стока

В начальный период дождя после завершения процесса перехвата влаги растительным покровом капли дождя попадают на поверхность почвы. В этот момент происходит внезапное насыщение почвы влагой, быстрое поглощение воды и перераспределение влаги в тонком слое поверхности земли. Инфильтрационная способность почвы в этот начальный момент слишком большая и превышает интенсивность дождя. До тех пор, пока влажность поверхности остается меньше влажности насыщения, скорость поглощения воды определяется интенсивностью дождя, и поверхностный сток возникнуть не может. В условиях дальнейшего выпадения дождя или увеличении его интенсивности верхний слой почвы насыщается влагой до полной влагоемкости и создаются условия для возникновения поверхностного стока за счет превышения интенсивности дождя над поглощающей способностью почвы. При длительном выпадении дождя на сильно увлажненную почву процесс приобретает стационарный характер, определяемый соотношением интенсивности дождя и коэффициентом влагопроводности насыщенного слоя почвы.

Согласно литературным данным [22] в зависимости от метода, положенного в основу, определение величины поверхностного стока осуществляется по эмпирическим, объемным формулам и формулам предельной интенсивности.

В мелиорации земель водный режим и факторы, которые определяющим образом влияют на него, традиционно оцениваются на основе водобалансового метода. Поэтому эффективные осадки в водобалансовых расчетах по формуле А. М. Янголя [45] определяются как:

$$N_e = 10(1-s)h_p = 10k_e h_p, \quad (20.30)$$

$$k_g = I - s, \quad (20.31)$$

где 10 – переводной коэффициент от слоя осадков в мм к объему воды в $m^3/га$;

h_p – расчетные осадки за вегетационный период, мм;

s – коэффициент стока;

k_g – коэффициент использования осадков (для зоны Полесья и Лесостепи Украины принимается в зависимости от обеспечения осадками: для среднего года (50 % обеспеченности) – 0,65, для сухого (75 % обеспеченности) – 0,7, для очень сухого года (90 % обеспеченности) – 0,8).

По А. Н. Костякову [15], коэффициент стока является фактором, который характеризует водо-заборную площадь и определяется по формуле

$$\sigma = I - \mu, \quad (20.32)$$

где μ – коэффициент насыщения почвы водой и задержания ее на поверхности водосбора, который оценивается в долях от общего объема осадков.

Поэтому для определения коэффициента стока А. Н. Костяков предложил следующую зависимость

$$\sigma = I - \frac{k_0}{p} t^{1-\alpha} = I - \frac{k_0}{p} \left(\frac{l}{v} \right)^{1-\alpha}, \quad (20.33)$$

где k_0 – средний слой воды, который всасывается в почву и задерживается на поверхности водосбора в первую единицу времени стока;

p – суточное количество осадков;

t – продолжительность выпадения осадков;

l – длина поверхности водосбора;

v – средняя скорость стока воды на водосборе.

Согласно исследованиям упомянутых авторов основными факторами, которые оказывают значительное влияние на формирование поверхностного стока на мелиорированных землях в условиях развитого рельефа, являются уклон поверхности и гранулометрический состав почвы.

Гранулометрический состав почвы – одна из основных характеристик, определяющая потери стока на впитывание в почву. Впитывающая способность почвы определяется гранулометрическим составом и структурой почвы, поэтому формулы впитывания должны отражать гранулометрический состав и тип почвы.

Удобная для практического применения формула впитывания, которая наиболее полно отражает физический смысл явления, предложена А. Н. Костяковым (1960)

$$k'_t = k_0 + \frac{A}{t^n}, \quad (20.34)$$

где k'_t – интенсивность всасывания в момент t при $I \rightarrow 0$;

k_0 – интенсивность утечки, установившаяся для данного типа почв;

A – параметр, зависящий от гранулометрического состава и влажности почв;

n – показатель редукции, который практически можно принять в интервале от $\frac{1}{3}$ к $\frac{3}{4}$ в зави-

симости от гранулометрического состава и влажности почвы.

Уклон поверхности также имеет определенное влияние на формирование поверхностного стока, что давно отмечалось многими авторами (С. Ф. Аверьянов [1], А. Н. Бефани [3] и др.). Он влияет на распределение стока во времени и обуславливает более ранний и высокий максимум стока на крутых склонах по сравнению с пологими. Уклон поверхности склона влияет не только на форму гидрограммы стока, но и на интенсивность впитывания, которая уменьшается с ростом уклона.

Для практических расчетов влияние уклона удобнее всего учитывать введением общей поправки к формуле впитывания

$$k_t = \left(k_0 + \frac{A}{t^n} \right) \varphi(I), \quad (20.35)$$

где k_t – интенсивность утечки в момент t при определенном уклоне поверхности I ;

$\varphi(I)$ – поправка на уклон.

На величину начального впитывания определенное влияние оказывает неровность поверхности (микрорельеф), поскольку в замкнутых микропонижениях аккумулируется слой воды. Размер аккумулярованного слоя воды зависит от объема микропонижений и уклона поверхности. Чем больше уклон склонов, тем меньше влияние неровностей на интенсивность потерь.

Интенсивность впитывания меняется в зависимости от характера почвы, ее обработки и от принятого расчетного момента времени. Влияние уклона на впитывание нельзя отражать линейным законом, так как при $\varphi = I$ значение $I = 0$, а при $\varphi = 0$ – соответственно $I \rightarrow \infty$. Тогда более правильно будет принять затухающий закон влияния уклона на впитывание [7]

$$\varphi = e^{-\alpha I}, \quad (20.36)$$

где α – эмпирический показатель степени, полученный по экспериментальным данным (установлено, что $\alpha \approx 0,03$);

I – расчетное значение уклона в%.

С учетом полученной поправки на уклон известную формулу (20.35) можно представить в следующем виде

$$k_i = (k_0 + \frac{A}{t^n}) e^{-0,03I}. \quad (20.37)$$

Согласно исследованиям С. Н. Козишкурт [9] в зоне оросительных мелиораций при дождевании на свободную водопроницаемость верхнего слоя почвы влияют поливная норма, интенсивность дождя, крупность капель, уклон дневной поверхности. Однако влияние уклона на величину свободного впитывания изначально влияет только после «критического» значения уклона.

Зависимость показателя свободного впитывания от уклона в исследуемом диапазоне 10...50 % определяется по формуле

$$P_i = P_0 - C(I - I_{кр}), \quad (20.38)$$

где P_i и P_0 – показатели свободного всасывания при уклонах, больших и равных критическому;

C – параметр, характеризующий степень влияния уклона на показатель P_i и зависит от нанорельефа и начального показателя впитывания почвы и может быть определен по формуле

$$C = \frac{P_0}{96,4} + 0,33, \quad (20.39)$$

I , $I_{кр}$ – уклон поверхности и критический уклон, который определяется по следующей зависимости

$$I_{кр} = \frac{P_0}{4,7} + 2. \quad (20.40)$$

На основе данных исследований А. Н. Костякова (табл. 20.1), который рассматривает образование поверхностного стока на мелиорированных территориях как коэффициент стока (k_s) в зависимости от двух определяющих факторов: водопроницаемости почвы, характеризующейся коэффициентом фильтрации (k_f) и уклоном поверхности почвы (i), регламентируемой ГСН В.2.4-1-99 «Мелиоративные системы и сооружения», нами была проведена многофакторная нелинейная статистическая обработка обобщенных данных по рассмотренным факторам.

Таблица 20.1

Обобщенные значения коэффициента поверхностного стока в зависимости от водопроницаемости почв и уклона поверхности

Водопроницаемость почв	Коэффициент фильтрации м/сут.	Коэффициент поверхностного стока с учетом уклона водосборной площади		
		незначительный (менее 0,01)	средний (0,01 ... 0,05)	большой (более 0,05)
Хорошая	2,0	0,10 ... 0,20	0,15 ... 0,25	0,20 ... 0,30
Средняя	1,0	0,15 ... 0,25	0,20 ... 0,30	0,25 ... 0,40
Ниже средней	0,5	0,20 ... 0,30	0,25 ... 0,45	0,35 ... 0,60
Слабая	0,1	0,25 ... 0,40	0,30 ... 0,60	0,50 ... 0,75
Мерзлый грунт	–	0,30 ... 0,60	0,40 ... 0,75	0,80 ... 0,95

Результаты выполненного анализа изложенных условий формирования поверхностного стока (k_s) на мелиорированных территориях в зависимости от их водопроницаемости (k_ϕ) и уклона поверхности (i) приведены на рисунке 20.4.

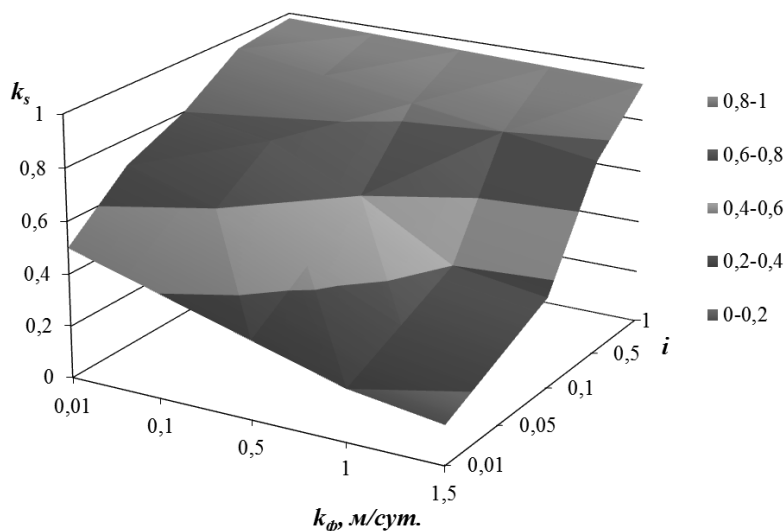


Рис. 20.4. График зависимости коэффициента стока от уклона и коэффициента фильтрации почвы на мелиорированных землях по данным А. Н. Костякова [4, 15]

Приведенные данные свидетельствуют о том, что влияние уклона поверхности и коэффициента фильтрации на формирование поверхностного стока нельзя отражать линейным законом, поскольку при уклоне $i = 0$ по принятым условиям поверхностный сток не возникает, а при $i \rightarrow \infty$ он принимает максимальные значения по расчетной величине осадков. Соответственно при коэффициенте фильтрации $k_\phi = 0$ все осадки переходят в поверхностный сток, а при $k_\phi > 0$ часть осадков пополняет влагозапасы РСП.

Таким образом, на основе проведенного нами многомерного нелинейного регрессионного анализа коэффициент поверхностного стока на мелиорированных территориях в зависимости от водопроницаемости почвогрунта и уклона его поверхности может быть определен по следующей эмпирической зависимости (рис. 20.5)

$$k_s = \left(1 - 0,07 \cdot \frac{k_\phi}{k_{\phi_0}} \right) \cdot i^{0,17 \left(1 + \frac{k_\phi}{k_{\phi_0}} \right)}, (R^2 = 0,96). \quad (20.41)$$

где k_{ϕ_0} – оптимальный коэффициент фильтрации грунта по условиям водорегулирования, $k_{\phi_0} = 1 \text{ м/сут}$.

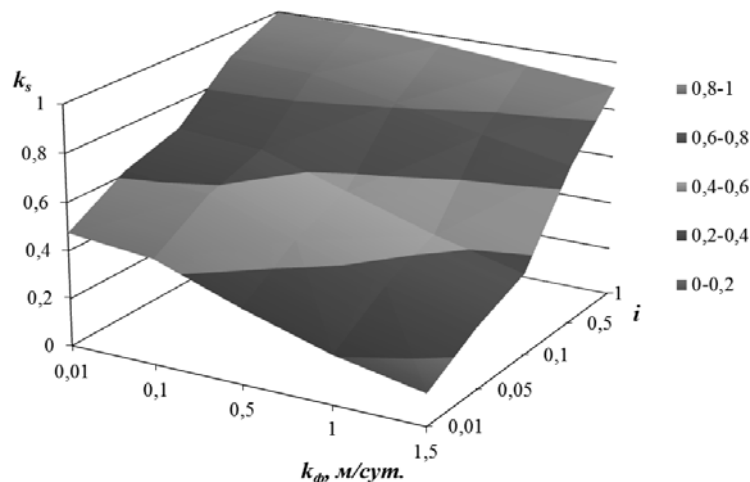


Рис. 20.5. График зависимости коэффициента стока от уклона и коэффициента фильтрации почвы на мелиорированных землях по определенной эмпирической формуле (20.41)

Проверка сходимости между фактическими и рассчитанными по формуле (20.41) значениями коэффициента поверхностного стока (рис. 20.5) по рассмотренным условиям показала, что уровень достоверности модели, определенный по общепринятым статистическим методам и показателям (относительная погрешность, средняя квадратическая погрешность, коэффициент корреляции, корреляционное отношение), составляет 70...90 % и полностью соответствует необходимому уровню точности выполнения водобалансовых расчетов при прогнозной оценке водного режима в структуре прогнозно-оптимизационных расчетов в проектах нового строительства и реконструкции мелиоративных систем на осушаемых землях с развитым рельефом местности.

Как было сказано выше, при наличии уклона поверхности земли может возникать поверхностный сток, который корректирует величину осадков. Поэтому, учитывая, что модель водного режима (20.2) в виде системы уравнений по аналогии с базовой моделью описывает квазистационарный процесс, то величина эффективных осадков может быть определена по выражению

$$P_{\tau} = X_{\tau} - S_{\tau}, \quad (20.42)$$

где X_{τ} – величина осадков за время τ ;

Тогда по аналогии с А. М. Янголем [45] поверхностный сток за время τ определяется по формуле

$$S_{\tau} = X'_{\tau} \cdot k_s, \quad (20.43)$$

где X' – часть осадков X_{τ} за время τ , которая превышает аккумулирующую способность РСП и может образовать поверхностный сток S_{τ} и привести к возникновению инфильтрации Ih_{τ}

$$X'_{\tau} = X_{\tau} - P', \quad (20.44)$$

где P' – количество осадков, которое может быть использовано для повышения влагозапасов почвы до уровня WPh^0

$$P'_{\tau} = WPh^0 - WPh_{\tau-1}, \quad (20.45)$$

где WPh^0 – запас продуктивной влаги, которая соответствует предельной полевой (наименьшей) влагоемкости РСП.

20.5. Учет влияния развитости рельефа на баланс грунтовых вод в модели водного режима осушаемых земель

Что касается модели баланса грунтовых вод, то изменение УГВ в пределах расчетного интервала времени относительно $Hg_{\tau-1}$ определяется эффективной составляющей влагообмена РСП за аналогичный период $\pm Vh_{\tau}$ по модели (20.2).

При этом имеют место следующие два основных варианта:

1) в случае возникновения инфильтрации (Ih_{τ}) при превышении количества осадков (X_{τ}) аккумулирующей способности РСП, то есть $X_{\tau} > WPh^0$, происходит повышение УГВ на величину

$$+ \Delta Hg = 0,0001 \cdot Ih_{\tau} \cdot \mu^{-1}, \text{ м}, \quad (20.46)$$

где μ – коэффициент водонасыщения грунта;

2) в случае срабатывания запасов грунтовых вод за счет подпитывания РСП в засушливые периоды вегетации величиной VPh_{τ} происходит снижение УГВ на величину

$$- \Delta Hg = 0,0001 \cdot VPh_{\tau} \cdot \delta^{-1}, \text{ м}, \quad (20.47)$$

где δ – коэффициент водоотдачи почвы.

Коэффициенты водонасыщения (μ) и водоотдачи (δ) почвы определяются опытным путем по результатам инженерных изысканий или принимаются по соответствующим рекомендациям.

Тогда глубина залегания УГВ в пределах осушаемого массива с учетом изменения соответствующих форм рельефа местности в общем случае $\bar{H}g'_{gsp}$ может быть представлена как

$$\bar{H}g'_{gsp} = \bar{H}g_{gsp} \pm \Delta H_{gi}, \text{ м}, \quad (20.48)$$

$$\pm \Delta H_{gi} = \Delta H_i \pm \Delta h_g, \text{ м}, \quad (20.49)$$

$$\Delta H_i = i \cdot L, \text{ м}, \quad (20.50)$$

где $\overline{H}g_{gsp}$ – нормированная средне вегетационная глубина УГВ в зависимости от вида грунта, способ водорегулирования и влагообеспеченности расчетного периода вегетации p ;

ΔH_{gi} – общий перепад поверхности земли;

ΔH_i – перепад поверхности земли с уклоном i ;

$\pm \Delta h_g$ – локальные перепады поверхности земли (повышение или понижение);

i – уклон поверхности;

L – длина исследуемого участка земли.

Учитывая иерархический подход к построению и реализации модели оптимизации по обоснованию конструктивных решений относительно типа, конструкции и параметров гидромелиоративной системы [29, 39 и др.], уклоны и перепады поверхности земли следует определять в пределах мелиорируемого поля, привязанного к регулирующей сети и почвам для переменных выращиваемых культур проектного севооборота и вариантов проектных решений по способам водорегулирования.

20.6. Определение уклонов и перепадов поверхности земли при разной степени развитости рельефа поверхности мелиорируемого поля

При проектировании мелиоративных систем чрезвычайно важно правильно определить их параметры и параметры составляющих технических элементов систем (регулирующей сети, проводящей сети, регулирующих гидротехнических сооружений). Однако на параметры мелиоративных систем, параметры составляющих технических элементов систем, количество и расположение регулирующих гидротехнических сооружений и эффективность их работы наряду с другими факторами существенно влияет наличие развитого рельефа, что, в свою очередь, отражается на стоимости системы и ее общей эколого-экономической эффективности [13].

Согласно общепринятой практике на стадии разработки проектных решений относительно типа, конструкции и параметров гидромелиоративной системы выполняется прокладка трасс каналов и коллекторов, а также построение их продольных профилей. С профиля можно получить данные по уклонам и перепадам поверхности земли, в целом по площади системы и ее составляющих иерархических уровнях реализации модели оптимизации (на уровне мелиорируемого поля для культур проектного севооборота на уровне почвы в пределах системы, на уровне структурных элементов системы относительно характерных рельефных условий и т. д.).

Модель долгосрочного прогноза водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель с учетом рельефа местности основывается на реализации уравнения водного баланса активного корневого слоя почвы с учетом образования поверхностного стока, который определяется через уклон поверхности земли (i) и коэффициент водопроницаемости почвы (k_ϕ) и уравнения баланса УГВ с учетом перепадов поверхности земли (ΔH_{gi}) [11, 12, 14]. В связи с этим на стадии проектирования необходимо выполнять оценку неравномерности рельефа осушаемых массивов, которая влияет на формирование неравномерности водного режима осушаемых земель. На основе особенностей формирования водного режима следует дифференцированно определять площади осушаемого массива, на которых мелиоративная система будет работать в режиме осушения, предупредительного шлюзования или подпочвенного увлажнения и соответственно формировать различный водный режим.

Сформулированная задача является достаточно сложной из-за необходимости анализа и учета значительного количества переменных как природно-агромелиоративных условий, так и характеристик рельефа: плоскостных, высотных, уклонов, поэтому целесообразно его реализовать на основе применения систем автоматизированного проектирования (САПР). Для этого нами разработаны методические подходы, соответствующее информационное и программное обеспечение по их реализации на ЭВМ при построении продольных профилей каналов и дренажных коллекторов в структуре реализации общей САПР осушительной системы.

Программа PROFIL предназначена для построения продольных профилей по открытой и закрытой осушительной сети, которая, помимо традиционных вопросов по увязке в вертикальной плоскости и определении объемов работ, дополнительно позволяет определить средневзвешенные уклоны и перепады поверхности земли на осушаемом массиве и в дальнейшем использовать полученные

данные в модели долгосрочного прогноза водного режима и технологий водорегулирования и модели оптимизации типа и конструкции осушительных систем.

Необходимые средневзвешенные расчетные значения уклонов (i) поверхности земли предлагаем определять в пределах рельефной единицы с использованием построенных профилей по проводящей сети (от коллектора к главной дрене, которые проходят по основным стокообразующим элементам рельефа) мелиоративной системы на основе комплексного линейно-площадного подхода, который в общем случае выглядит как

$$\bar{i}^{(кан)} = \sum_{j=1}^{j_{кол}} \left[\left(\frac{\sum_{n=1}^{n_i} (i_{jn} \cdot L_{jn})}{\sum_{n=1}^{n_i} L_{jn}} \right) \cdot f_j^{(кол)} \right], \quad (20.51)$$

где $f^{(кол)}$ – доля площади обслуживаемого коллектором в пределах площади обслуживания каналом;

L – длина типичных участков по длине соответствующего элемента проводной сети осушительной системы.

Соответствующие расчетные значения перепадов поверхности земли определяются аналогично

$$\overline{\Delta h}_g^{(кан)} = \sum_{j=1}^{j_{кол}} \left[\left(\frac{\sum_{n=1}^{n_{\Delta h_g}} (\Delta h_{g_{jn}} \cdot L_{jn})}{\sum_{n=1}^{n_{\Delta h_g}} L_{jn}} \right) \cdot f_j^{(кол)} \right]. \quad (20.52)$$

В дальнейшем определяются средневзвешенные по площади значения уклона и перепадов поверхности земли по иерархической структуре построения системы на уровне культур проектного севооборота, видов почв и структурных элементов системы с характерными рельефными условиями через соответствующие площади, которые обслуживаются открытыми каналами и коллекторно-дренажными сетями (рис. 20.6).

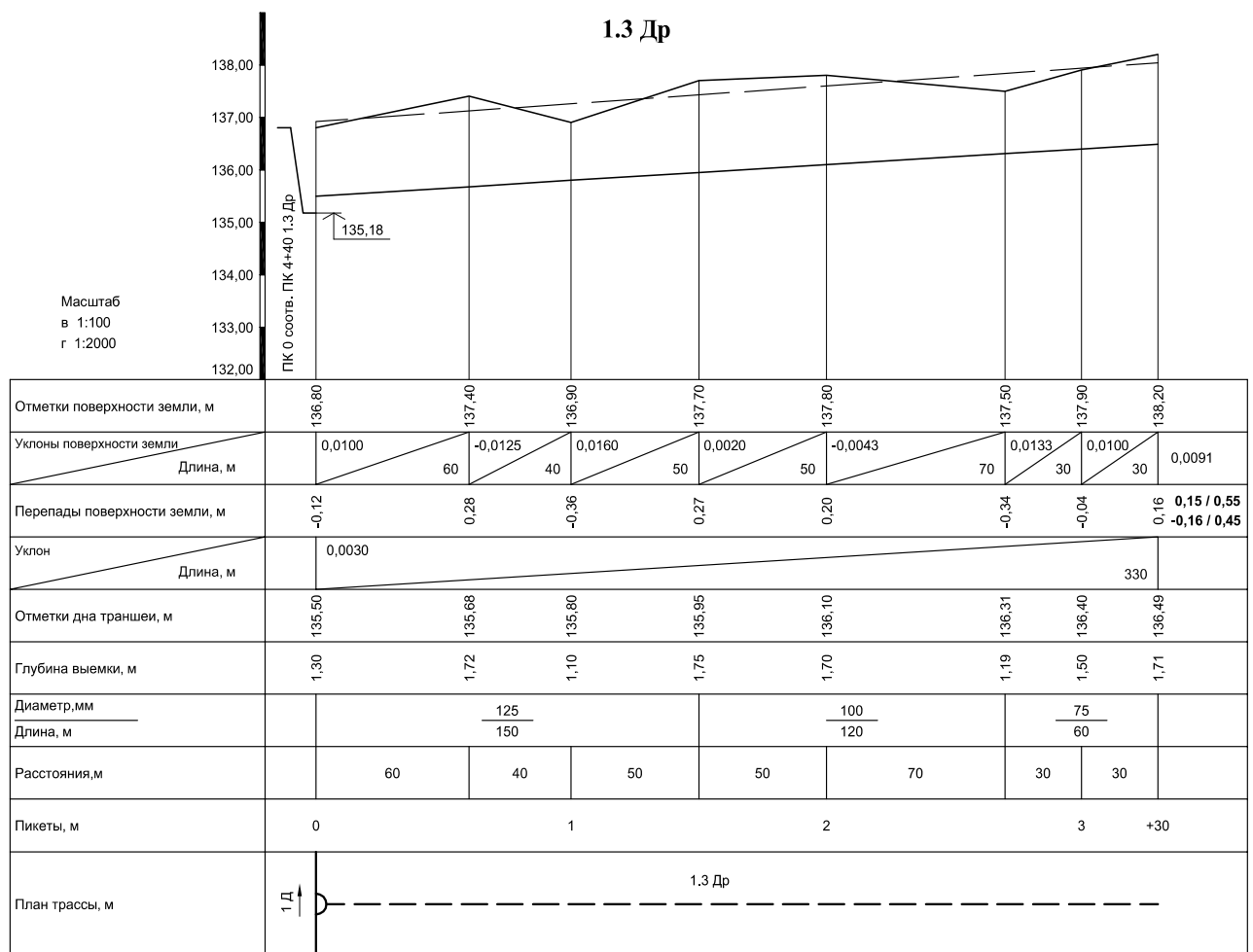


Рис. 20.6. Продольный профиль дренажного коллектора с определением средневзвешенных значений уклона и перепада отметок поверхности земли

Следовательно, принцип определения уклонов поверхности земли (i) заключается в нахождении их по каждой характерной области и в целом по всей трассе коллектора или канала как средневзвешенное значение. В свою очередь, перепады поверхности земли ($\pm \Delta h_g$) определяются в характерных точках в пределах выделенной рельефной единицы относительно усредненной линии, которая является фактически общим уклоном поверхности земли. При этом параметры усредненной линии, а именно начальная отметка и коэффициент наклона прямой, определяются регрессионным анализом по методу наименьших квадратов. После этого отдельно находятся средневзвешенные по длине значения перепадов в повышениях ($+\Delta h_g$) и понижениях ($-\Delta h_g$) поверхности земли и их долевые значения по всей трассе коллектора или канала.

В рассматриваемом примере установленные значения средневзвешенного по длине уклона (i), положительные ($+\Delta h_g$) и отрицательные ($-\Delta h_g$) значения локальных перепадов поверхности земли и их доли по трассе дренажного коллектора 1.3 Др составляют соответственно $i = 0,0091$, $+\Delta h_g = 0,15$ м (0,55), $-\Delta h_g = 0,16$ м (0,45) (рис. 20.6).

Точность определения уклонов и перепадов поверхности земли по предложенному линейно-площадному подходу зависит как от фактической, так и удельной протяженности элементов проводящей (каналов и дренажных коллекторов) сети на единицу площади системы и составляет в среднем 0,84...0,92, что вполне приемлемо для уровня инженерных расчетов.

Таким образом, разработанные подходы и программа PROFIL в структуре САПР осушительной системы построения продольных профилей по закрытой и открытой осушительной сети позволяют определить средневзвешенные по площади системы уклоны и перепады поверхности земли для использования их при реализации модели долгосрочного прогноза водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель, а в дальнейшем в модели оптимизации типа и конструкции осушительных систем с учетом рельефа местности в проектах их строительства и реконструкции.

20.7. Исследование влияния рельефа местности на водный режим и эффективность водорегулирования осушаемых земель

Главная цель водорегулирования основывается на обеспечении рекомендуемых норм осушения для различных культур и почв. Практика эксплуатации осушительных систем показала, что соблюдение рекомендованных норм осушения обеспечивается использованием различных технологий водорегулирования, среди которых осушение, предупредительное шлюзование, непрерывное и периодическое увлажняющее шлюзование. Но их реализация не всегда эффективна из-за значительного отклонения УГВ от рекомендованных в течение периода вегетации, что подтверждено как нашими исследованиями, так и исследованиями О. В. Скрипника, Н. А. Лазарчука, А. В. Черенкова и др. [16, 17, 37, 38]. В результате были обобщены фактические характеристики режимов УГВ по годам различной обеспеченности ($p = 10\%$, $p = 30\%$, $p = 50\%$, $p = 50\%$, $p = 90\%$) по схематизированным природно-мелиоративным условиям.

Применение такого подхода требует проведения полномасштабных натурных исследований, что в современных условиях не всегда возможно выполнить, особенно с учетом изменчивости метеофакторов во времени. Поэтому для реализации этих задач целесообразно использовать прогнозно-имитационные методы и модели, позволяющие спрогнозировать поведение исследуемого объекта в многолетнем и внутривегетационном разрезе [20, 23, 29, 41 и др.].

Применение прогнозно-имитационных моделей основывается на использовании систематизированных многолетних исследований, с помощью которых можно выполнять статистически обоснованную сравнительную оценку формирования урожайности, водопотребления культур и водного режима осушаемых земель для различных технологий водорегулирования в различные по условиям тепло- и влагообеспеченности периоды вегетации и выполнить оценку характера и степени связи между ними.

Для проведения машинного эксперимента на ЭВМ использован комплекс прогнозно-имитационных моделей, разработанный в научно-исследовательской лаборатории «АСУ и САПР водохозяйственных и мелиоративных объектов» кафедры гидромелиораций (НУВХП) [39, 41].

Машинный эксперимент на ЭВМ дает возможность спрогнозировать поведение исследуемого объекта для лет различной обеспеченности $p = 10-90\%$ по показателям урожайности, влагообеспеченности, увлажнительной нормы, УГВ, учитывая изменчивость метеофакторов во времени и рельефа местности.

Для этого нами был спланирован и реализован машинный эксперимент по соответствующей модели (20.2) на примере осушительно-увлажнительной системы, расположенной в Киевской области: расчетные периоды вегетации $\{p\} = \overline{1, n_p}$ – очень влажный (10 %), влажный (30 %), средний (50 %), сухой (70 %), очень сухой (90 %); совокупность основных выращиваемых сельскохозяйственных культур $\{k\} = \overline{1, n_k}$ – зерновые, технические, травы; уровни продуктивности $\{Y\} = \overline{1, n_Y}$ – низкий, средний, высокий; виды и водопроницаемость почв $\{g\} = \overline{1, n_g}$ – песчаные ($k_\phi = 1,2$ м/сут.), супесчаные ($k_\phi = 0,7$ м/сут.), суглинки ($k_\phi = 0,2$ м/сут.); технологии водорегулирования $\{s\} = \overline{1, n_s}$ – осушение (ОС), предупредительное шлюзование (ПШ), подпочвенное увлажнение (УШ); перепады поверхности земли $\{\Delta H_{gi}\} = \overline{1, n_{\Delta H_{gi}}}$ – -0,4 м, -0,2 м, 0,0 м, 0,2 м, 0,4 м, 0,6 м, 0,8 м, 1,0 м, 1,2 м; уклоны поверхности земли $\{i\} = \overline{1, n_i}$ – 0, 0.001, 0.002, 0.003, 0.004, 0.005, 0.007, 0.01.

В связи со значительным объемом получаемой информации по результатам прогнозных режимных расчетов для множественных переменных природных и агрометеорологических условий реального объекта на рисунке 20.7 в графическом виде приведены только отдельные фрагменты полученных результатов.

Оценка воздействия множественных факторов на формирование водного режима и соответствующей продуктивности осушаемых земель выполнена на основе использования многомерного статистического анализа с построением корреляционной матрицы вида

$$|r_{mn}| = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (20.53)$$

Самым простым способом оценки эмпирических моделей является определение уровня сходимости между расчетными (модельными) и опытными эмпирическими (фактическими) данными с помощью таких показателей, как относительная погрешность ε , сумма квадратов отклонений $\sum d^2$, коэффициент корреляции r , дисперсия S и др., которые определяются по общим стандартным методикам.

Критериями оценки точности методики прогноза считаются:

1. Корреляционное отношение зависимости предполагаемого явления от его факторов, с помощью которых составляется прогноз (η). Точность методики прогноза удовлетворительная, если $\eta = 0,86 \dots 0,60$, и хорошая, если $\eta \geq 0,87$.

2. Величина σ_y/σ , то есть отношение средней квадратичной погрешности проверочных прогнозов (σ_y) до среднего квадратического отклонения предполагаемой величины (σ). Точность методики прогноза считается хорошей, если $\sigma_y/\sigma \leq 0,50$. Точность прогноза считается удовлетворительной, если $\sigma_y/\sigma = 0,51 \dots 0,80$. Эффективность методики прогноза показывает, насколько погрешность прогноза меньше равно-вероятных отклонений от нормы предполагаемой величины или ее изменения в течение периода заблаговременности прогноза. Количественно эффективность методики прогноза может быть охарактеризована величиной σ_y/σ .

Обобщающая оценка влияния множественных факторов на формирование водного режима осушаемых земель по результатам машинного эксперимента нами выполнена на основе многомерного статистического анализа с построением корреляционной матрицы (табл. 20.2).

Таблица 20.2

Корреляционная матрица оценки воздействия множественных переменных факторов на формирование продуктивности и водного режима осушаемых земель

	Y	WPh	Hg	ΔH_{gi}	P
Y	1	0,9053	-0,4348	-0,2521	-0,9506
WPh	0,9053	1	-0,4416	-0,1914	-0,9145
Hg	-0,4348	-0,4416	1	0,876	0,2665
ΔH_{gi}	-0,2521	-0,1914	0,876	1	-0,0119
P	-0,9506	-0,9145	0,2665	-0,0119	1

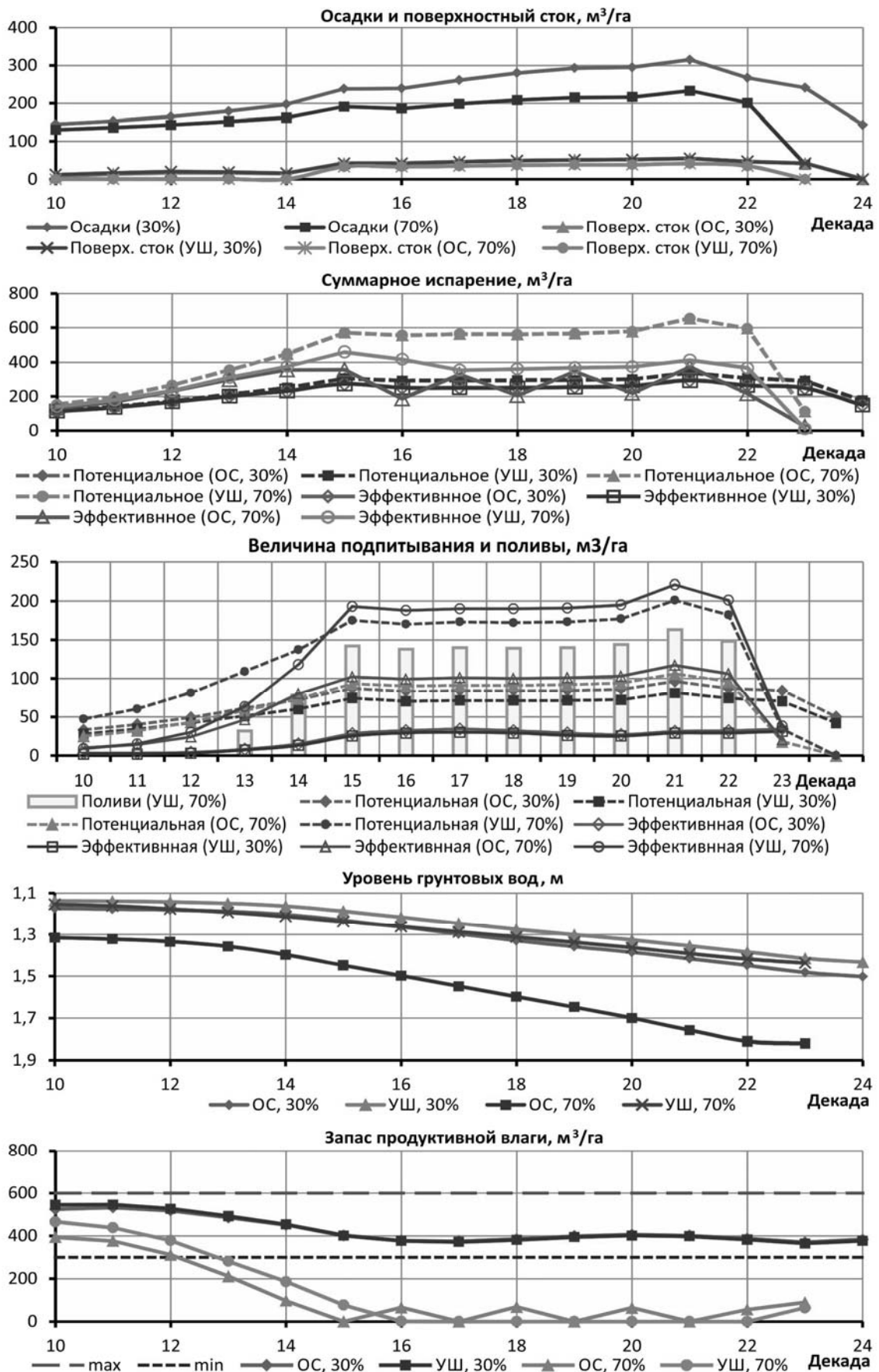


Рис. 20.7. Динамика составляющих водного баланса и водного режима осушаемых земель при разных технологиях водорегулирования и обеспеченности по осадкам с учетом развитости рельефа местности ($i = 0,002$, $\Delta H_{gi} = 0,4$ м)

Полученные результаты в целом подтверждают результаты многолетних научных исследований в зоне осушительных мелиораций, проведенных большим количеством известных ученых, и свидетельствуют о тесной связи (квадрат коэффициента корреляции $R^2_{(Y, WPh, Hg, \Delta H_{gi}, p)} = 0,9906$, средняя квадратичная дисперсия $S = 0,1082$, средняя квадратичная ошибка квадрата коэффициента корреляции $S_{R^2} = 0,001$) между составляющими системы

урожай (Y) \Leftrightarrow водный режим (WPh) \Leftrightarrow режим УГВ (Hg) \Leftrightarrow рельеф ($\Delta H, I$).

Теснота связи между составляющими приведенной системы подтверждается статистической обработкой при исследовании характера связи между исследуемыми факторами, а именно определением уравнения регрессии, парных коэффициентов корреляции и соответствующих статистических показателей.

На рисунке 20.8 представлено влияние развитости рельефа осушаемых земель, которая выражается через перепады уровней поверхности земли, на формирование УГВ исследуемого объекта.

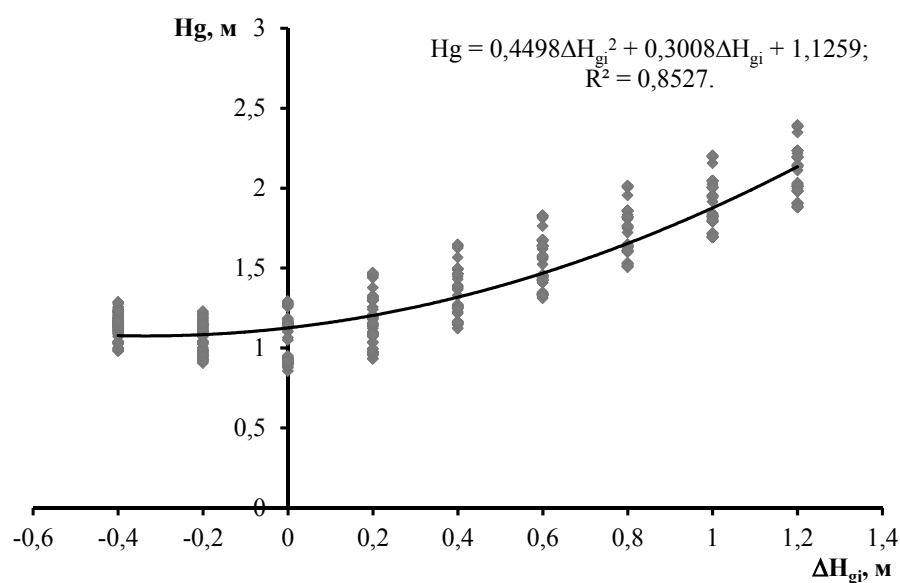


Рис. 20.8. График зависимости УГВ от развитости рельефа осушаемых земель

Характер влияния развитости рельефа поверхности земли на формирование УГВ при различных погодно-климатических, почвенных условиях и технологиях водорегулирования описывается квадратичной зависимостью.

При этом квадрат коэффициента корреляции составляет $R^2_{(Hg, \Delta H_{gi})} = 0,8527$, средняя квадратичная дисперсия $S = 0,0221$, средняя квадратичная ошибка квадрата коэффициента корреляции $S_{R^2} = 0,0058$, средняя квадратичная ошибка уравнения регрессии $S_{Hg} = 0,1485$.

При увеличении перепадов поверхности земли наблюдается рост уровня залегания грунтовых вод в пределах мелиорируемого поля, а оптимальные перепады рельефа находятся в пределах $-0,2...+0,2$ м для создания более равномерного залегания УГВ.

В свою очередь, залегание УГВ наряду с другими факторами существенно влияет на формирование продуктивных влагозапасов расчетного корнеобитаемого слоя почвы (рис. 20.9).

Характер влияния глубины УГВ на формирование продуктивных влагозапасов расчетного корнеобитаемого слоя почвы в различных погодно-климатических, почвенных условиях и технологий водорегулирования лучше всего описывается экспонентной зависимостью. Квадрат коэффициента корреляции составляет $R^2_{(WPh, Hg)} = 0,7171$, средняя квадратичная дисперсия $S = 0,0082$, средняя квадратичная ошибка квадрата коэффициента корреляции $S_{R^2} = 0,0219$, средняя квадратичная ошибка уравнения регрессии $S_{Hg} = 0,0904$.

При увеличении глубины УГВ наблюдается увеличение величины продуктивных влагозапасов расчетного корнеобитаемого слоя почвы мелиорируемого поля. Теснота связи между продуктивными влагозапасами расчетного корнеобитаемого слоя почвы и урожайности сельскохозяйственных культур подтверждается данными, приведенными на рисунке 20.10.

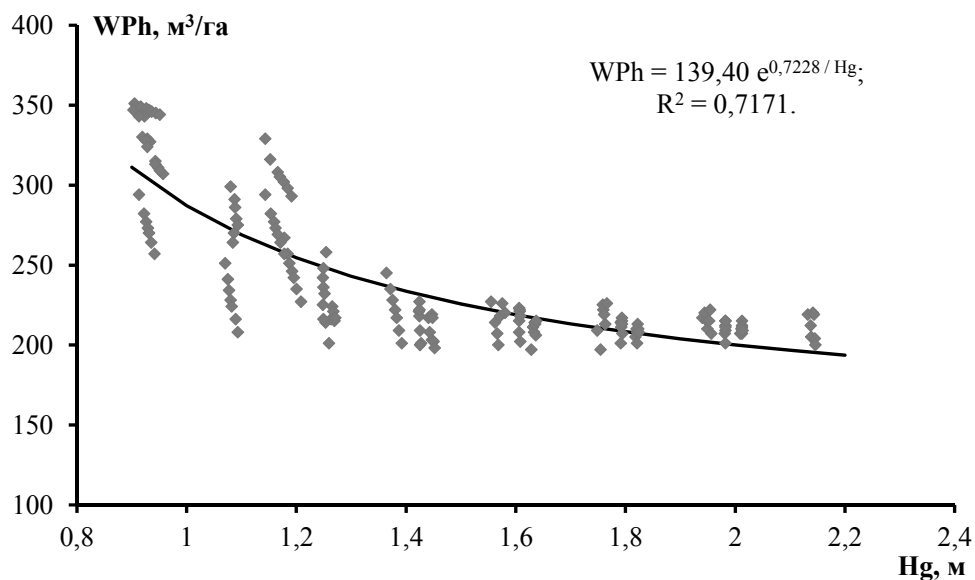


Рис. 20.9. График зависимости продуктивных влагозапасов расчетного корнеобитаемого слоя почвы от глубины УГВ

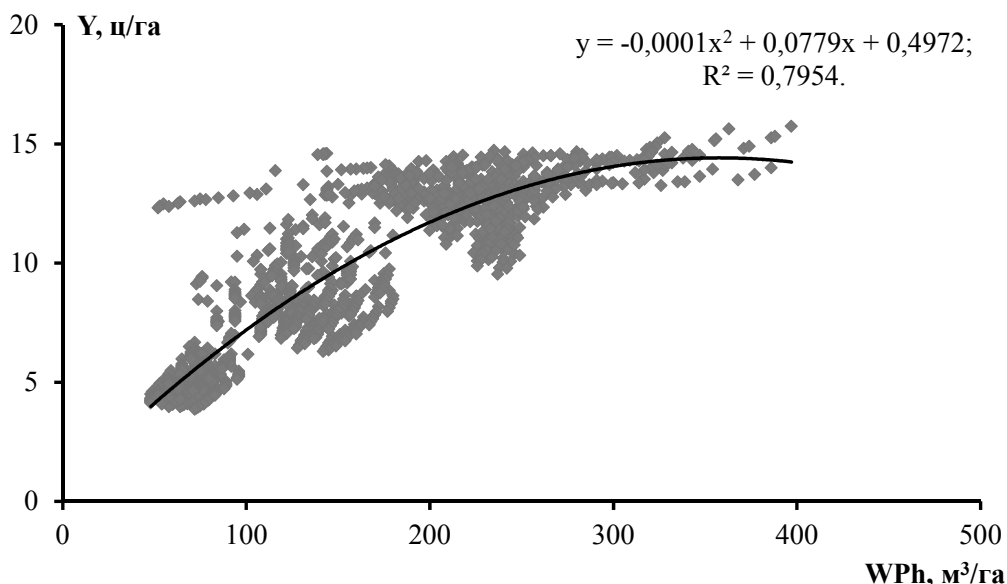


Рис. 20.10. График зависимости урожайность выращиваемых сельскохозяйственных культур от продуктивных влагозапасов расчетного корнеобитаемого слоя почвы

Дисперсионный анализ свидетельствует о том, что продуктивность осушаемых земель изначально зависит от продуктивных влагозапасов расчетного корнеобитаемого слоя почвы: квадрат коэффициента корреляции составляет $R^2_{(WPh, Hg)} = 0,7954$, средняя квадратичная дисперсия $S = 0,0547$, средняя квадратическая ошибка квадрата коэффициента корреляции $S_{R^2} = 0,0053$, средняя квадратическая ошибка уравнения регрессии $S_{Hg} = 0,0594$.

Одновременно приведенные данные (рис. 20.10) свидетельствуют о значительной вариабельности между урожаем и влажностью РСП, поэтому следует учитывать, что характер влияния влажности почвы на урожайность мелиорированных земель может изначально меняться в различных природно-климатических условиях местности и применяемых технологиях водорегулирования. Таким образом, проведенная статистическая обработка результатов экспериментальных исследований подтверждает тесноту связи между составляющими системы **урожай – водный режим – режим УГВ – рельеф**.

Наличие развитого рельефа местности приводит к образованию поверхностного стока, который, в свою очередь, влияет на формирование влажности почвы и, в конечном итоге, на продуктивность осушаемых земель. Вегетационные значения поверхностного стока при различных технологиях, уклонах, видах почвы и обеспеченности осадками представлены в таблице 20.3.

Вегетационные значения поверхностного стока на осушаемых землях по прогнозным расчетам, S , м³/га

k_{ϕ} , м/сутки	i	Расчетные годы, $p\%$				
		10	30	50	70	90
осушение (ОС)						
0,2	0,002	1473	990	743	605	477
	0,005	1756	1150	883	722	569
	0,01	1997	1286	1006	825	650
0,7	0,002	864	718	445	355	280
	0,005	1108	793	569	456	359
	0,01	1338	928	685	550	434
1,2	0,002	506	422	266	208	164
	0,005	699	582	366	288	226
	0,01	892	743	465	367	289
предупредительное иллюзование (ПШ)						
0,2	0,002	1473	1008	777	622	477
	0,005	1756	1168	920	741	569
	0,01	1997	1305	1045	846	650
0,7	0,002	864	726	468	369	280
	0,005	1108	831	595	473	359
	0,01	1338	944	714	570	434
1,2	0,002	506	426	279	220	164
	0,005	699	588	383	303	226
	0,01	892	750	486	386	289
увлажнение иллюзованием (УШ)						
0,2	0,002	1473	1008	777	623	477
	0,005	1756	1168	920	742	569
	0,01	1997	1302	1046	847	650
0,7	0,002	864	726	467	370	280
	0,005	1108	831	595	474	359
	0,01	1338	944	714	571	434
1,2	0,002	506	426	278	220	164
	0,005	699	588	382	303	226
	0,01	892	750	485	386	289

Расчеты показали, что в зависимости от влагообеспеченности лет, наличия уклонов поверхности земли, видов почвогрунта и технологий водорегулирования поверхностный сток приобретает разные значения и может достигать до 2000 м³/га в течение вегетационного периода. При этом поверхностный сток достигает максимальных значений во влажные годы, при увеличении уклонов поверхности земли и на почвах с низким коэффициентом фильтрации. Что касается технологий водорегулирования, то поверхностный сток также различен, поскольку при разных технологиях начальные влагозапасы почвы неодинаковы, при этом разнятся и режимы УГВ.

Таким образом, учет рельефа местности в прогнозно-оптимизационных моделях по выбору рациональных технологических и конструктивных решений по водорегулированию осушаемых земель с развитым рельефом позволит повысить уровень обоснованности типа и конструкции осушительных систем в проектах их строительства и реконструкции.

20.8. Мелиоративная эффективность рельефа на осушаемых землях

В результате обобщения полученных результатов также экспериментально установлено, что характер и степень влияния рельефа местности наряду с другими факторами влияния на формирование водного режима и урожая выращиваемых культур при различных технологиях водорегулирования имеет выраженный оптимум, который дифференцированно формируется в зависимости от множественных природно-агромелиоративных условий реального объекта. При этом продуктивность мелиорированных земель в условиях развитого рельефа местности ($i \neq 0$, $\Delta H_{gi} \neq 0, м$) по сравнению с базовыми условиями ($i = 0$, $\Delta H_{gi} = 0, м$) изменяется в значительных пределах (до $\pm 60\%$).

На рисунке 20.11 по обобщенным результатам выполненных расчетов показано формирование переменного характера оптимума относительной урожайности различных видов выращиваемых сельскохозяйственных культур в зависимости от развитости рельефа осушаемых земель.

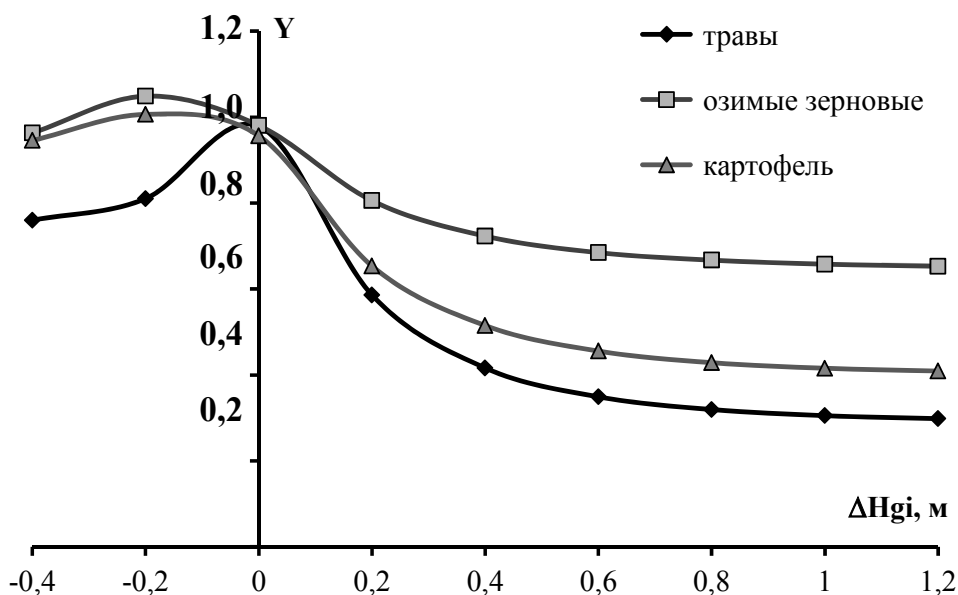


Рис. 20.11. Продуктивность различных видов сельскохозяйственных культур в зависимости от развитости рельефа осушаемых земель

Как фрагмент на рисунках 20.12 и 20.13 представлены результаты выполненных расчетов, отражающих характер и степень воздействия различной степени развитости рельефа осушаемых земель в различных природных, агрометеорологических условиях и технологиях водорегулирования исследуемых объектов.

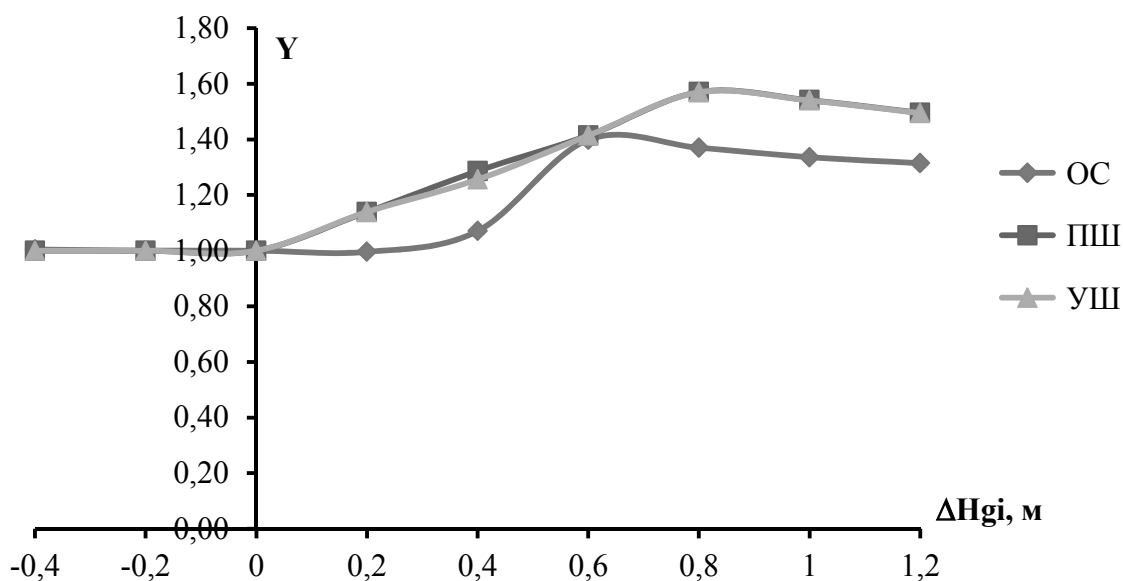


Рис. 20.12. Продуктивность многолетних трав (на зеленую массу) в зависимости от развитости рельефа осушаемых земель для влажных лет ($p = 30\%$)

Результаты расчетов убедительно показывают, что развитый рельеф местности существенно влияет на формирование продуктивности осушаемых земель, имеет разную степень влияния и переменный оптимум при различных природных, агрометеорологических условиях и технологиях водорегулирования.

Во влажные годы в пониженных местах наблюдается снижение урожая сельскохозяйственных культур, а на возвышенных местах – прирост урожая. В засушливые годы – все наоборот. Также влияние развитости рельефа местности в условиях выращивания соответствующих сельскохозяйственных культур и применения технологий водорегулирования прослеживается по-разному.

В связи с изложенным считаем целесообразным ввести понятие *мелиоративная эффективность рельефа*. Этот показатель определяется отношением фактического урожая культур в различных условиях развитости рельефа осушаемых земель к его значению, полученному в базовых условиях.

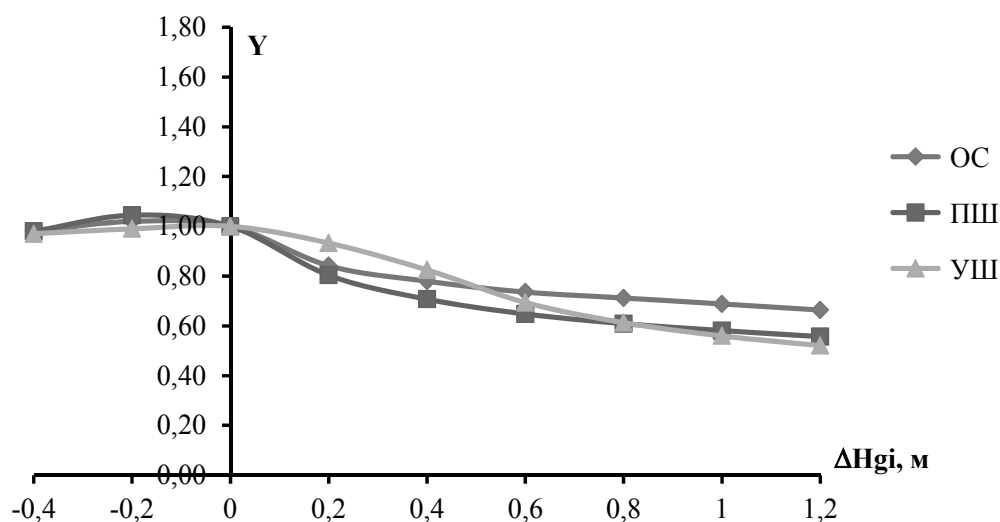


Рис. 20.13. Продуктивность многолетних трав (на зеленую массу) в зависимости от развитости рельефа осушаемых земель для сухих лет ($p = 70\%$)

Обобщенная характеристика оценки мелиоративной эффективности рельефа осушаемых земель по средневзвешенным во времени и пространстве его показателям приведена в таблице 20.4. Более точные значения мелиоративной эффективности в определенных природно-агромелиоративных условиях могут быть установлены соответствующими прогнозно-имитационными расчетами.

Таблица 20.4

Мелиоративная эффективность рельефа осушаемых земель

Степень развитости рельефа	Количественные показатели рельефа		Показатель мелиоративной эффективности	Мелиоративная эффективность рельефа
	i	$\Delta H_{gi}, м$		
Слаборазвитый	$< 0,001$	$< 0,2$	1,0 ... 1,2	Высокая
Среднеразвитый	0,001 ... 0,004	0,2 ... 0,6	0,8 ... 1,0	Средняя
Сильно развитый	$> 0,004$	$> 0,6$	0,4 ... 0,8	Низкая

Оценка мелиоративной эффективности рельефа позволит повысить обоснованность проектных решений по водорегулированию осушаемых земель. Кроме того, наличие выраженного оптимума при разной степени развитости рельефа осушаемых земель по множественным природным и агро-мелиоративным условиям обуславливает необходимость применения оптимизационного подхода к обоснованию проектных решений по технологии водорегулирования и связанных с ними типа и конструкции системы на осушаемых землях с развитым рельефом местности.

20.9. Оценка мелиоративной эффективности рельефа объекта осушения и Полесья Украины в целом

Учитывая наличие оптимума урожайности выращиваемых культур при разной степени развитости рельефа осушаемых земель по множественным природным и агро-мелиоративным условиям, можно сказать, что возникает необходимость на стадии проектирования выполнять оценку неравномерности рельефа осушаемых массивов, которая, в свою очередь, влияет на водный режим осушаемых земель.

На основе особенностей формирования водного режима следует дифференцированно определять площади осушаемого массива, на которых мелиоративная система может работать в режиме осушения, предупредительного шлюзования или подпочвенного увлажнения и соответственно формировать различный водный режим. Учет природно-климатических, почвенных, рельефных, гидро-геологических, агротехнических и других условий объекта в процессе проектирования мелиоративных мероприятий обуславливает необходимость рассматривать, как правило, значительное количество различных по техническим и технологическим решениям вариантов, которые определяющим образом влияют прежде всего на экономическую и экологическую эффективность их реализации.

Проектирование водорегулирования осушаемых земель опирается на соответствующий комплекс оптимизационных и прогнозно-имитационных моделей для прогноза на долгосрочной основе по схематизированным погодно-климатическим условиям местности, водного режима и технологий водорегулирования, продуктивности мелиорированных угодий с выходом на оптимизационные модели по выбору оптимального проектного решения по технологиям водорегулирования и соответствующим типам и конструкциям системы с учетом современных технологических, экономических и экологических требований. При этом модель водного режима в упомянутом комплексе моделей является определяющей.

Выполнение оценки влияния разной степени развитости рельефа местности на формирование водного режима и продуктивность осушаемых земель как сложного объекта исследований требует использования систематизированных данных длительных исследований и предполагает рассмотрение текущих природных, агротехнических и мелиоративных условий реального объекта.

На современном этапе развития науки и техники предусматривается широкое внедрение высокоинформативных компьютерных технологий во все сферы жизни, интенсивно используются системы автоматизированного проектирования как универсальный технический инструмент, который позволяет совершенствовать практику проектирования сложных объектов и систем, прежде всего природно-техногенного характера, а также решать целый ряд сопутствующих научных и народнохозяйственных задач.

Применение географических информационных систем (ГИС) как составляющей систем автоматизированного проектирования сегодня является одним из приоритетных направлений. Географические информационные системы используют методы, связанные с цифровым представлением земной поверхности и позволяют выполнять сбор, накопление, анализ, отображение и распространение самых разнообразных данных, имеющих пространственную составляющую.

Под цифровой моделью рельефа (ЦМР) в геоинформатике понимают цифровое представление топографической поверхности в виде регулярной сети ячеек заданного размера (grid DEM) или нерегулярной треугольной сети (TIN DEM). Эти две формы представления ЦМР являются в наше время взаимно конвертируемыми и имеют практически одинаковые возможности по представлению и анализу рельефа.

Особенно эффективно использование геоинформационных технологий при управлении водными и земельными ресурсами, которые позволяют: обрабатывать данные наблюдений эколого-мелиоративного и водохозяйственного мониторинга; выполнять контроль и анализ количественных и качественных характеристик водных ресурсов (почвенных, поверхностных, дренажных вод), почв, урожайности сельскохозяйственных культур, водохозяйственных объектов в целом; создавать карты высот поверхности земли, уклонов и экспозиции склонов, их эродированности; моделировать и прогнозировать развитие гидрологических процессов для принятия управленческих решений и т. п.

Таким образом, используя программный продукт ArcGIS, мы построили цифровые модели рельефа Полесья Украины и Ровненской области (рис. 20.14, 20.16) на основе данных радарной топографической спутниковой съемки SRTM (Shuttle radar topographic mission), выполнен анализ земной поверхности по уклонам (рис. 20.15, 20.17), определены площади, занимаемые ими, и выполнена оценка мелиоративной эффективности рельефа земной поверхности на примере Ровненской области и Украинского Полесья в целом (табл. 20.5).

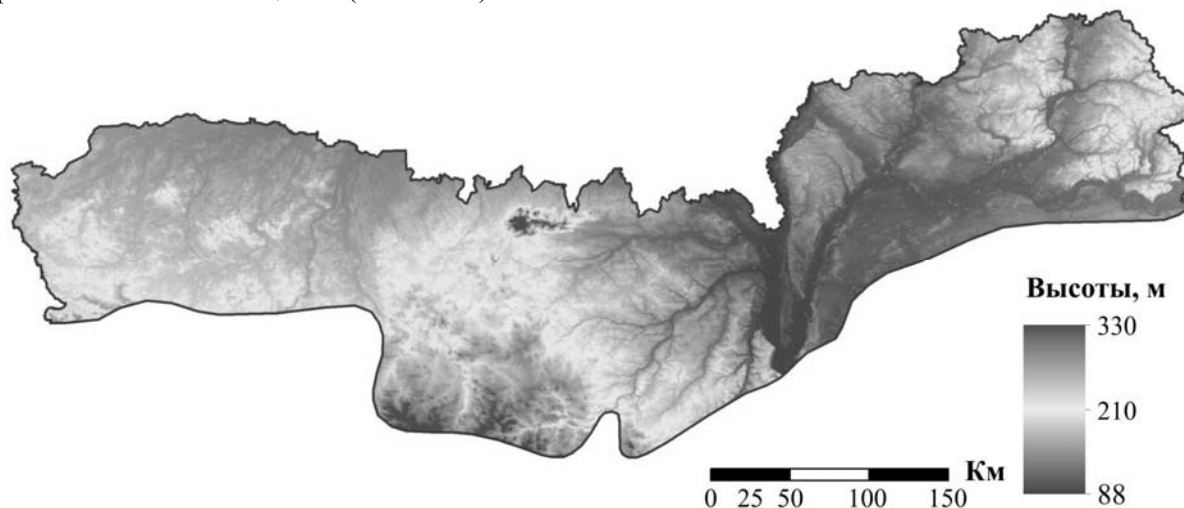


Рис. 20.14. Высотные отметки земной поверхности Полесья Украины

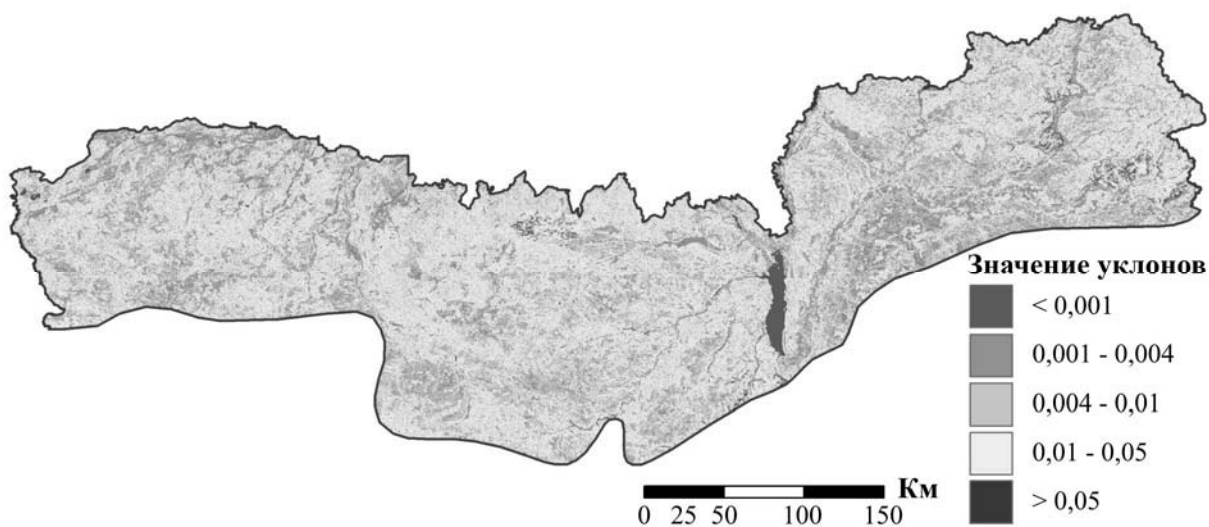


Рис. 20.15. Уклоны земной поверхности Полесья Украины

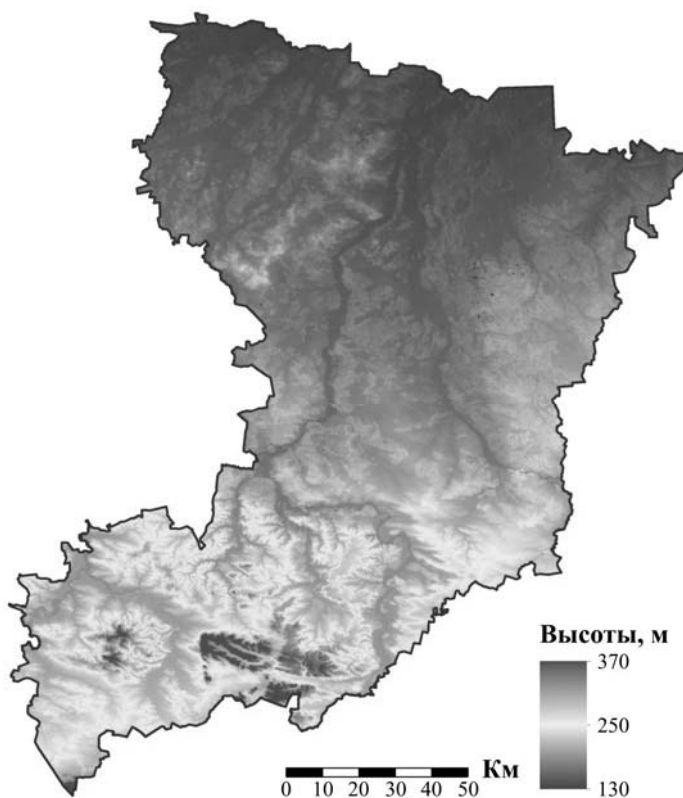


Рис. 20.16. Высотные отметки земной поверхности Ровенской области

По результатам анализа высотных отметок рельефа Полесья Украины установлено, что абсолютные максимальные отметки составляют 330 м, минимальные – 88 м, перепады высот достигают 242 м. Для Ровенской области абсолютные максимальные отметки составляют 370 м, минимальные – 130 м, перепады высот – 240 м. Площадь распространения слабо и средне развитого рельефа для зоны Полесья Украины составляет 18,12 %, а для Ровенской области – 16,38 %, средневзвешенный уклон поверхности земли соответственно 0,022 ($1,26^\circ$) и 0,027 ($1,55^\circ$).

Согласно литературным источникам [36] рельеф исследуемых зон по крутизне земной поверхности относится к равнинно-холмистому рельефу. Однако с мелиоративной точки зрения, а именно относительно осушительных систем с подпочвенным увлажнением, которые в условиях изменений климата являются наиболее актуальными в зоне Полесья Украины, рельеф с имеющимися уклонами считается сильно развитым, а мелиоративная эффективность рельефа *низкой*. Наличие развитого рельефа обуславливает неэффективное использование осадков из-за возникновения поверхностного

стока и угрозы эрозии почв, неравномерное формирование УГВ и водного режима в целом на осушаемых землях.

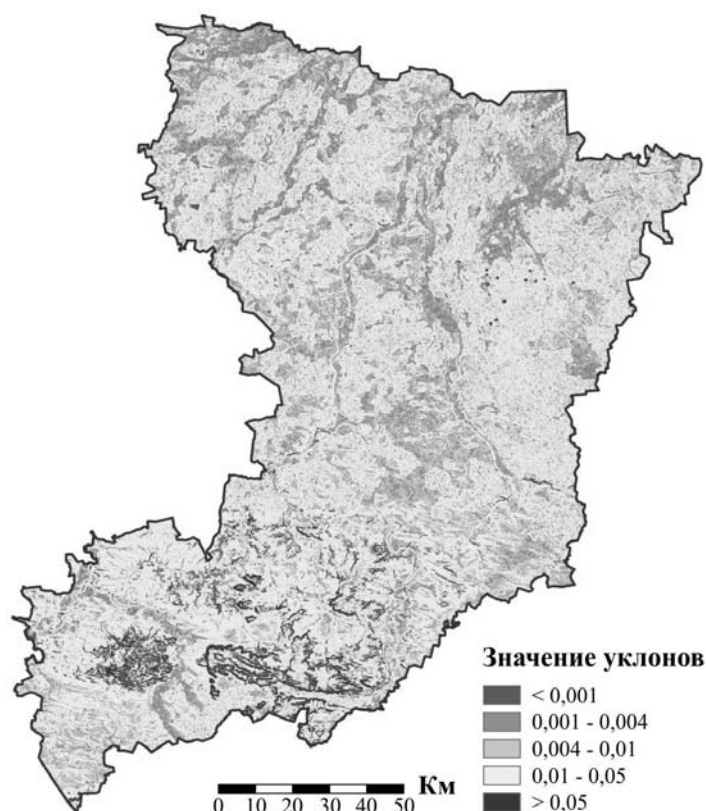


Рис. 20.17. Уклоны земной поверхности Ровенской области

Таблица 20.5

Оценка мелиоративной эффективности рельефа на основе анализа земной поверхности по уклонам исследуемых объектов

№ п/п	Уклон, i	Площадь		Степень развитости рельефа	Мелиоративная эффективность рельефа
		км ²	%		
По характерным участкам рельефа Полесья Украины					
1	<0,001	2121	2,21	<i>слаборазвитый</i>	<i>высокая</i>
2	0,001 - 0,004	15259	15,91	<i>среднеразвитый</i>	<i>средняя</i>
3	0,004 - 0,01	29932	31,22	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>
4	0,01 - 0,05	46558	48,56	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>
5	> 0,05	2010	2,1	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>
В целом по Полесью Украины по средневзвешенным значениям					
	0,022	95880	100	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>
По характерным участкам рельефа Ровенской области					
1	<0,001	317	1,58	<i>слаборазвитый</i>	<i>высокая</i>
2	0,001 - 0,004	2967	14,8	<i>среднеразвитый</i>	<i>средняя</i>
3	0,004 - 0,01	5532	27,59	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>
4	0,01 - 0,05	10348	51,62	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>
5	> 0,05	883	4,41	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>
В целом по Ровенской области по средневзвешенным значениям					
	0,027	20047	100	<i>сильно развитый</i>	<i>низкая</i>

Следует отметить, что точность высот общедоступной цифровой модели рельефа SRTM соответствует высотам, полученным с топографических карт масштаба 1:100000. При учете систематической ошибки возможно повышение точности данных высокого и сверхвысокого разрешения матрицы SRTM, которая может быть использована при создании карт масштаба 1:25000 и 1:10000 для районов с равнинным и холмистым рельефом [6, 25].

Таким образом, микрорельеф за счет своих размеров нивелируется при создании крупномасштабных карт на основе цифровой модели рельефа SRTM, поэтому учет микрорельефа в процессе проектирования осушительных систем возможен на основе проведения топографической съемки местности на объекте строительства, которая согласно [34] должна соответствовать следующим требованиям: топографический (инженерно-топографический) план в масштабе 1:2000; сечение рельефа 0,5 м для равнинной местности, а для местности с микрорельефом – 0,25 м; нивелирование по квадратам 20x20 м.

По общепринятой практике на стадии разработки проектных решений относительно типов, конструкций и параметров гидромелиоративной системы выполняется прокладка трасс каналов и коллекторов и построение их продольных профилей, из которых можно получить данные по уклонам и перепадам поверхности земли, в целом по площади системы и ее составляющим на иерархических уровнях (на уровне мелиорируемого поля для культур проектного севооборота, на уровне почв в пределах системы, на уровне структурных элементов системы по характерным рельефным условиям и т. д.).

Мощной САПР при проектировании водохозяйственно-мелиоративных объектов является AutoCAD Civil 3D, рабочие процессы в которой основаны на технологии информационного моделирования. Данный программный комплекс позволяет выполнять работы в области геодезии, топографии, генплана, геологии, вертикальной планировки и благоустройства территории, нового строительства и реконструкции линейно протяженных объектов (автомобильные и железные дороги, каналы, дамбы, напорные и безнапорные трубопроводы), использовать базы данных ГИС (геоинформационные системы), выполнять анализ поверхности земли с уклонами и высотными отметками, моделировать сложные водоемы и определять направления стока, содержит инструменты для планирования поверхности земли. Поэтому на предпроектной стадии нами предлагается выполнять предварительный анализ поверхности земли и определять мелиоративную эффективность осушаемых земель с помощью программного комплекса AutoCAD Civil 3D, который позволяет исследовать характер поверхности, определить необходимые показатели поверхности и их значения (высоты, перепады, уклоны, площади характерных участков), отображать поверхность как по заданным, так и по автоматически определенным диапазонам подобных значений отметок и уклонов, а также сформировать в табличной форме ведомость отметок, перепадов, уклонов и площадей характерных участков.

В качестве примера для определения мелиоративной эффективности рельефа осушительной системы «Иква» Дубенского района Ровенской области была построена цифровая модель рельефа по данным топографической съемки, исследован характер поверхности, определены необходимые показатели и их значения: высоты, перепады, уклоны, площади характерных участков (рис. 20.18, табл. 20.6).

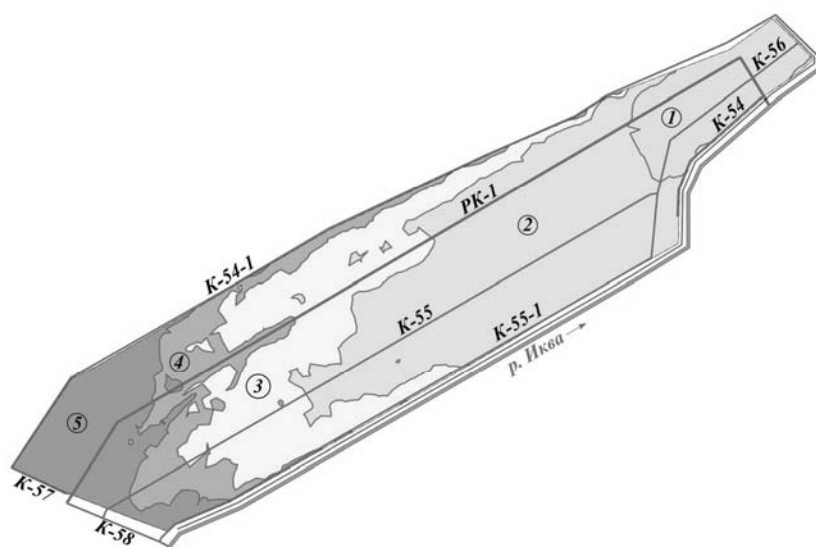


Рис. 20.18. Определение участков с характерными рельефными условиями осушительной системы «Иква» Дубенского района Ровенской области

Выполненный анализ рельефа поверхности земли исследуемой мелиоративной системы показал, что средневзвешенный уклон тут составляет 0,004, а общий средневзвешенный перепад отметок – 0,34 м. Таким образом, рельеф осушительной системы по степени развитости является среднеразвитым, а мелиоративная эффективность рельефа – средней, показатель которой может находиться в пределах 0,8...1,0.

**Оценка мелиоративной эффективности рельефа осушительной системы «Иква»
Дубенского района Ровенской области**

№ участка	Количественные показатели рельефа		Площадь		Степень развитости рельефа	Показатель мелиоративной эффективности	Мелиоративная эффективность рельефа
	уклон, i	$\Delta H_{gi}, \text{ м}$	га	%			
По характерным участкам рельефа							
1	0,004	0,5	31,8	9,6	среднеразвитый	0,96	<i>средняя</i>
2	0,001	0,2	143,2	43,4	слаборазвитый	1,02	<i>высокая</i>
3	0,002	0,3	78,4	23,8	среднеразвитый	0,92	<i>средняя</i>
4	0,003	0,4	35,7	10,8	среднеразвитый	0,87	<i>средняя</i>
5	0,018	0,9	40,9	12,4	сильно развитый	0,64	<i>низкая</i>
В целом по системе							
	0,004	0,34	330	100	среднеразвитый	0,93	<i>средняя</i>

Установленные средневзвешенные уклоны и перепады поверхности земли в дальнейшем могут быть использованы в прогнозно-оптимизационных моделях по выбору рациональных технологических и конструктивных решений по водорегулированию осушаемых земель в условиях развитого рельефа местности.

Итак, учет развитого рельефа местности в прогнозно-оптимизационных моделях по выбору рациональных технологических и конструктивных решений по водорегулированию осушаемых земель позволит повысить уровень обоснованности типа и конструкции осушительных систем в проектах их строительства и реконструкции.

20.10. Оптимизация типа и конструкции гидромелиоративной системы с учетом рельефа местности

Необходимость учета многочисленных факторов воздействия при обосновании как рациональной технологии водорегулирования осушаемых земель, так и соответствующих типа и конструкции гидромелиоративной системы, обеспечивающих достижение проектных показателей экономического и экологического эффекта по проекту согласно современным требованиям, обуславливают необходимость применения для этого оптимизационного подхода [29, 39]. Он является традиционным путем назначения управления и выбора решений вообще и предполагает при постановке экстремальных задач выбор критерия оптимальности, который должен давать возможность качественно подходить к прогнозированию и анализу действенности всех элементов исследуемой системы и возможных альтернативных решений, которые рассматриваются. Критериями необходимости, эффективности и целесообразности проведения гидромелиоративных мероприятий выступает урожай выращиваемых культур и создаваемый эколого-экономический эффект на осушаемых землях.

В качестве критерия оптимальности водорегулирования осушаемых земель на стадии строительства и реконструкции мелиоративных систем целесообразно использовать показатель приведенных затрат с учетом погодно-климатического риска [39, 42 и др.]

$$ZP_i = C_i + E_n \cdot K_i + R_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (20.54)$$

где C_i – текущие затраты на получение продукции по вариантам технических решений, состоящих из сельскохозяйственных $C_i^{сз}$ и эксплуатационных C_i^e расходов. Последние включают отчисления на амортизацию и ремонт A_i и мелиоративные расходы C_i^m на уход за системой;

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений K_i по соответствующим вариантам технических решений совокупности $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$;

R_i – погодно-климатический риск, определяемый по статистической модели как

$$R_i = \sqrt{V_i - \mathcal{E}_i}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (20.55)$$

где V_i – стоимость валовой продукции по фактической урожайности, полученной по i -тому варианту проектного решения;

\mathcal{E}_i – стоимость валовой продукции потенциально возможной урожайности на объекте.

Тогда, с учетом изложенного общая модель оптимизации будет иметь вид

$$ZP_0 = \min_{\{i\}} \left\{ \left[(A_i + C_i^{cz} + C_i^m) + E_n K_i + R_i \right] / V_i \right\}, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (20.56)$$

Основными исходными данными и меняющимися условиями в схематизированном виде для разработки экономико-математической модели оптимизации водорегулирования осушаемых земель на долгосрочной основе по (20.56) являются совокупности следующих факторов:

- метеорологических станций или постов $\Omega = \{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$, их долей f_ω или площадей F_ω обслуживания в рамках системы;
- видов осушаемых почв $G = \{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$, их долей f_g или площадей F_g распространения;
- видов выращиваемых сельскохозяйственных культур $Q = \{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$, их долей f_k или площадей F_k в структуре проектных севооборотов и величин их расчетных средних (проектных или плановых) урожаев \bar{Y}_k , $k = \overline{1, n_k}$ на осушаемых землях;
- возможных способов водорегулирования осушаемых земель $S = \{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ и площадей f_s их применения в рамках системы;
- расчетных (типовых) по условиям тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации $P = \{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ и их долей α_p , $p = \overline{1, n_p}$ в пределах проектного срока функционирования системы или использования осушаемых земель;
- структурных элементов системы, характерных по рельефу местности $L = \{l\}$, $l = \overline{1, n_l}$, их долей f_l или площадей F_l распространения;
- удельных стоимостных показателей для определения технико-экономических показателей, входящих в состав экономико-математических моделей и т. п.

Тогда, исходя из изложенного и принципов построения моделей оптимизации, исходная модель по обоснованию конструктивных решений относительно типов, конструкций и параметров гидромелиоративной системы в целом и составляющих их технических элементов должна быть реализована в соответствии с уровнями иерархии на уровне выращиваемых культур, почв, рельефных условий и системы в целом

$$ZP_0 = \min_{\{s\}} \sum_{s=1}^{n_s} \sum_{l=1}^{n_l} \sum_{g_l=1}^{n_{gl}} \sum_{k=1}^{n_k} ZP_{kgs} \cdot f_k \cdot f_{g_l} \cdot f_l \cdot f_s, \quad (20.57)$$

где ZP_{kgs} – значение критерия по подходящим вариантам проектного решения по основным факторам воздействия на исследуемый объект;

f_k, f_{g_l}, f_l, f_s – доли распространения соответственно культур проектного севооборота, почвенных и рельефных условий в пределах объекта.

Представленная структура экономической составляющей модели оптимизации в достаточной мере соответствует сути процессов, происходящих на осушаемых землях.

Окончательный вид модели оптимизации по типу и конструкции системы определяется принятой n -уровневой ($v = \overline{1, n_v}$) структурой выполнения оптимизационных расчетов в зависимости от уровня сформулированной задачи – нахождение оптимума в соответствии с иерархической структурой построения системы ($n_v = 4$): $v = 1$ – на уровне культур проектного севооборота; $v = 2$ – на уровне почвы; $v = 3$ – на уровне рельефной разницы; $v = 4$ – на уровне системы в целом (рис. 20.19).

Практическая реализация общей модели оптимизации (20.57) достигается через ее решение на каждом соответствующем уровне иерархической структуры системы:

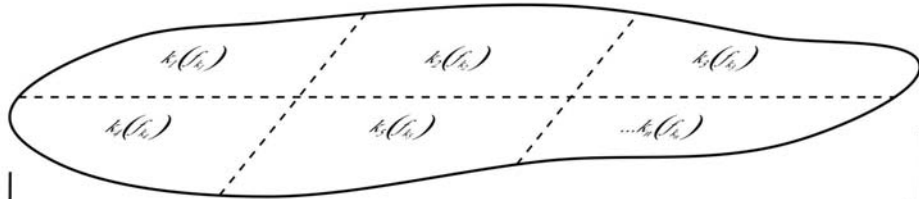
- на уровне выращиваемых культур проектного севооборота совокупности $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$ для вариантов проектных решений по способам водорегулирования $i = \{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ для каждого $k = const$

$$ZP_{kg}^0 = \min_{\{s\}} ZP_{kgs}, \quad k = \overline{1, n_k}; \quad g = \overline{1, n_g}; \quad s = \overline{1, n_s}, \quad (20.58)$$

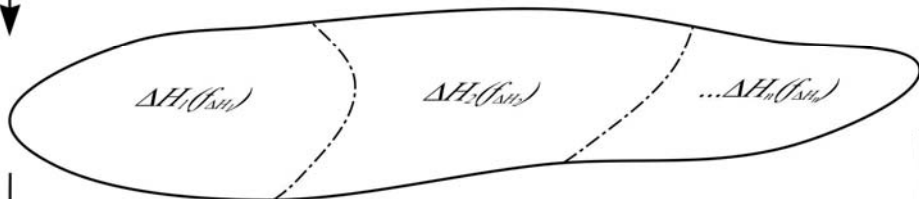
где

$$ZP_{kg}^0 = \min_{\{s\}} ZP_{kgs}, \quad k = \overline{1, n_k}; \quad g = \overline{1, n_g}; \quad s = \overline{1, n_s}, \quad (20.59)$$

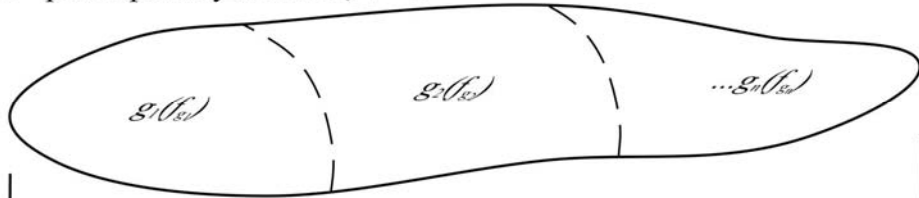
- на уровне культур проектного севооборота совокупности, $v = 1$



- на уровне почв в пределах системы совокупности, $v = 2$



- на уровне структурных элементов системы по характерным рельефным условиям, $v = 3$



- на уровне системы, $v = 4$

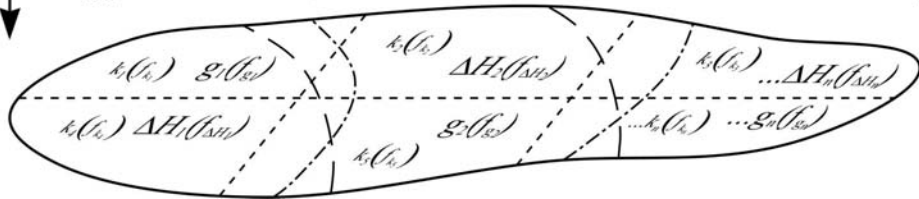


Рис. 20.19. Схема реализации оптимизационных расчетов по обоснованию типа и конструкции системы с множественными изменчивыми условиями и учетом рельефа местности

$$ZP_{kgs} = \sum_{p=1}^{n_p} \frac{[A_s + E_n K_s + (C_{kpgs}^{cz} + C_{kpgs}^M + R_{kpgs}) \cdot \alpha_p]}{V_{kpgs} \cdot \alpha_p}, \quad k = \overline{1, n_k}; \quad g = \overline{1, n_g}; \quad s = \overline{1, n_s}; \quad (20.60)$$

- на уровне почв в рамках системы совокупности $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$

$$ZP_g^0 = \min_{\{s\}} \sum_{k=1}^{n_k} ZP_{kgs} \cdot f_k, \quad g = \overline{1, n_g}; \quad s = \overline{1, n_s}; \quad (20.61)$$

- на уровне структурных элементов системы по характерным рельефным условиям совокупности $\{l\}$, $l = \overline{1, n_l}$

$$ZP_l^0 = \min_{\{s\}} \sum_{g=1}^{n_{gl}} ZP_{g,s} \cdot f_{g_l}, \quad l = \overline{1, n_l}; \quad s = \overline{1, n_s}; \quad (20.62)$$

- на уровне системы для вариантов проектных решений по схемам водорегулирования $i = \{s\}$, $s = \overline{1, n_s + m}$

$$ZP_0 = \min_{\{s\}} \sum_{l=1}^{n_l} ZP_{ls} \cdot f_l, \quad s = \overline{1, n_s + m}, \quad (20.63)$$

где $s = \overline{1, n_s + m}$ – количество схем водорегулирования на системе, определяемое соответствующим количеством возможных способов водорегулирования в зависимости от условий объекта n_s и рацио-

нальным количеством дополнительных схем водорегулирования $m(m = 2 - 5)$, учитывающих влияние возможных специальных условий водорегулирования на нем (например, сочетание осушения с частичным использованием орошения дождеванием, прежде всего для трав и овощей, или применения предупредительного или увлажнительного шлюзования только на части системы, что связано с их ограничением по почвенным или рельефным условиям, или ограниченной способностью шлюзования и т. п.).

Пример реализации общей модели оптимизации (20.57) по иерархическому уровню структуры построения системы выполнена и представлена в таблице 20.7 для соответствующих культур, видов почвы, рельефных условий и технологий водорегулирования и их соответствующей доли. Результаты выполненных расчетов четко показывают, что для сахарной свеклы и картофеля в равнинных условиях оптимальным проектным решением будет строительство увлажняющей системы (УШ), а при развитии рельефа – предупредительное шлюзование (ПШ). Для озимой пшеницы и многолетних трав в равнинных условиях предупредительное шлюзование, а в развитых – осушение (ОС). В конечном итоге на уровне системы с учетом культур, видов почв, рельефа оптимальным решением является осушительная система.

Таблица 20.7

Обобщенная характеристика формирования оптимума по результатам прогнозно-оптимизационных расчетов на разных уровнях иерархии реализации модели

Культуры	k_ϕ , м/сут.	i	Значения показателя приведенных затрат			
			ОС	ПШ	УШ	
На уровне культур	Сахарная свекла	0,7	0	1,38	1,31	1,3
			0,005	1,57	1,55	1,65
	1,2	0	1,37	1,31	1,29	
		0,005	1,52	1,49	1,62	
	Картофель	0,7	0	1,16	0,99	0,96
			0,005	1,28	1,15	1,16
		1,2	0	1,15	0,99	0,96
			0,005	1,25	1,11	1,13
	Озимые зерновые	0,7	0	2,71	2,66	3,12
			0,005	2,99	3,03	3,96
		1,2	0	2,71	2,66	3,12
			0,005	2,9	3	3,95
Многолетние травы	0,7	0	13,24	13,23	15,05	
		0,005	16,18	17,82	24,5	
	1,2	0	12,99	12,96	15,1	
		0,005	15,9	17,6	24,22	
На уровне почв	0,7	0	6,34	6,28	7,09	
		0,005	7,64	8,27	11,15	
	1,2	0	6,24	6,17	7,11	
		0,005	7,49	8,16	11,02	
На уровне характерных рельефных условий		0	6,28	6,21	7,10	
		0,005	7,56	8,21	11,09	
На уровне системы			7,05	7,42	9,49	

Таким образом, применение рассматриваемого оптимизационного подхода по соответствующим критериям и моделям позволит повысить обоснованность проектных решений при строительстве, реконструкции и модернизации осушительных систем, расположенных в условиях развитого рельефа местности, по рациональным технологиям водорегулирования и соответствующим типам и конструкциям системы с учетом современных технологических и экономических требований.

20.11. Инвестиционная оценка проектов оптимизации водорегулирования осушаемых земель с учетом основных факторов влияния

Современное экономическое положение водохозяйственно-мелиоративной отрасли характеризуется наличием многих проблем экономического и экологического характера. Отсутствие должного финансирования и многочисленные негативные экологические последствия нерационального хозяйствования на мелиорированных землях привели к значительному снижению их эффективности [42].

Одним из перспективных путей выхода из кризиса является перестройка экономического механизма управления отраслью и реализация инвестиционных проектов реконструкции существующих мелиоративных систем, что, в свою очередь, требует радикального изменения подходов к эколого-экономическому обоснованию таких проектов. Это приведет к повышению инвестиционной привлекательности отрасли и ее развитию в направлении экологизации производства. Ведь именно обоснованность экономической целесообразности и экологической надежности таких проектов является необходимым условием и стимулом для их финансирования как за счет государственных, так и частных инвестиций в современных условиях.

Однако одной из основных проблем является отсутствие в существующих методиках механизма учета влияния факторов окружающей среды на эколого-экономический эффект от реализации таких проектов. В частности, как показала практика, учет в недостаточной степени неравномерности рельефа в существующих методах проектирования и расчета мелиоративных систем является одной из важнейших причин недостижения проектной эффективности мелиорации земель с развитым рельефом местности [13, 28].

В последнее десятилетие начались интенсивные исследования, в том числе отечественных ученых, в сфере экономики природопользования, управления проектами в сфере природопользования и изучения эколого-экономических последствий хозяйственной деятельности.

Однако проблеме комплексной оценки эколого-экономической эффективности инвестирования мелиоративных мероприятий как необходимой составляющей управления мелиоративными проектами с учетом специфических особенностей их реализации на современном этапе все еще не уделяется должного внимания. В связи с этим нами разработаны научно обоснованные принципы и подходы к построению и реализации комплекса прогнозно-оптимизационных моделей, которые позволяют обосновывать оптимальное проектное решение при строительстве и реконструкции осушительных систем с учетом рельефа местности [39, 41].

Для конечного выбора оптимальных проектных решений и их экономической оценки использованы современные методы инвестиционного анализа с учетом специфики отрасли.

Результаты выполненных прогнозно-имитационных расчетов по ряду действующих объектов с различными рельефными условиями в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения Украины показали, что при обосновании типа и конструкции мелиоративной системы наравне с другими факторами влияния на формирование водного режима и урожая выращиваемых сельскохозяйственных культур при разных технологиях водорегулирования характер и степень влияния рельефа местности также имеет выраженный оптимум, который дифференцированно формируется в зависимости от множественных природных и агро-мелиоративных условий реального объекта [39, 40, 41]. Но конечный лучший вариант проектного решения в таком случае может быть выбран лишь на основе оценки их инвестиционной эффективности в рыночных условиях с применением соответствующих методов [42].

Необходимость учета многочисленных факторов воздействия при обосновании как рациональной технологии водорегулирования осушаемых земель, так и соответствующих типа и конструкции гидромелиоративной системы, обеспечивающих достижение проектных показателей экономического и экологического эффекта по проекту согласно современным требованиям, обуславливают необходимость применения для этого оптимизационного подхода в широком его понимании [29].

Выбор оптимального проектного решения (ПР) при строительстве и реконструкции осушительных систем следует выполнять в два этапа [42]:

- 1) предварительная экономическая оценка оптимального варианта из возможных альтернативных вариантов мелиоративного проекта;
- 2) инвестиционная оценка оптимального варианта проектного решения.

Предварительная экономическая оценка оптимального варианта основывается на реализации общей модели оптимизации через ее формулировку и решение на каждом соответствующем уровне иерархической структуры построения системы на уровне:

- выращиваемых культур проектного севооборота, для вариантов проектных решений по способам водорегулирования;
- почвы в рамках системы;
- структурных элементов системы по характерным рельефным условиям, при переменных параметрах уклонов (I) и перепадов (Δh) поверхности земли;
- системы для вариантов проектных решений по схемам водорегулирования.

В качестве критерия и условия оптимальности водорегулирования осушаемых земель на стадии строительства и реконструкции мелиоративных систем целесообразно использовать минимизацию показателя приведенных затрат с учетом погодно-климатического риска

$$ZP_0 = \min_{\{i\}}(C_i + E_n \cdot K_i + R_i),, i = \overline{1, n_i}, \quad (20.64)$$

где C_i – текущие затраты на получение продукции по вариантам технических решений, состоящих из сельскохозяйственных C_i^{cc} и эксплуатационных C_i^e расходов. Последние включают отчисления на амортизацию и ремонт A_i и мелиоративные расходы C_i^m на уход за системой;

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений K_i по соответствующим вариантам проектных решений совокупности $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$;

R_i – погодно-климатический риск.

Инвестиционная оценка оптимального варианта проектного решения выполняется по основным показателям, используемым при расчете инвестиционной привлекательности мелиоративного проекта: чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности инвестиций (ИГИ), дисконтированный срок окупаемости (ДСО) и внутренняя норма доходности (ВНД) инвестиций.

В общем случае модель выбора оптимального для реализации варианта мелиоративного проекта и обоснование его эффективности на стадии инвестиционной оценки имеет вид

$$ИДН_0 = \max_{\{i\}}(ИДН_i), i = \overline{1, n} \text{ при условии, что } \begin{cases} ЧДД_i \geq 0; \\ ВНД_i \geq d_i; \\ ДСО_i \geq T_{np}, \end{cases} \quad (20.65)$$

где d_i – норма дисконта по варианту проектного решения;

T_{np} – приемлемый для инвестора дисконтированный срок окупаемости вложений.

Эффективность моделей оптимизации по общеэкономической и инвестиционной оценке проектных решений по обоснованию наилучшего варианта по типу и конструкции системы по соответствующей технологии водорегулирования осушаемых земель (ОС – осушительная система, ПШ – предупредительное шлюзование, УШ – увлажнение шлюзованием) с учетом развитости рельефа местности (вариант 1: $I = 0$, $\Delta h = 0, м$; вариант 2: $I = 0,002$, $\Delta h = 0,4, м$; вариант 3: $I = 0,003$, $\Delta h = 0,6, м$) показано на примере Броварской ОУС, расположенной в Киевской области (табл. 20.8, 20.9).

Таблица 20.8

Основные показатели общей экономической эффективности вариантов проектных решений

№ п/п	Показатель	Технология водорегулирования		
		ОС	ПШ	УШ
Вариант 1: $I = 0$, $\Delta h = 0, м$				
1	C_i , грн./га	4234,7	4741,5	5169,7
2	R_i , грн./га	6914,9	5977,9	4848,3
3	K_i , грн./га	23800	24600	27600
4	ZP_i	1,631	1,458	1,347
Вариант 2: $I = 0,002$, $\Delta h = 0,4, м$				
1	C_i , грн./га	3957,3	4336,4	4785,1
2	R_i , грн./га	7771,8	7280,3	6633,8
3	K_i , грн./га	26300	26800	32400
4	ZP_i	1,908	1,801	1,818
Вариант 3: $I = 0,003$, $\Delta h = 0,6, м$				
1	C_i , грн./га	3909,2	4338,1	4827
2	R_i , грн./га	7936,9	7584,7	7155,4
3	K_i , грн./га	27200	33800	39400
4	ZP_i	1,975	2,025	2,117

Основные показатели экономической эффективности инвестиций

№ п/п	Показатель	Технология водорегулирования		
		ОС	ПШ	УШ
<i>Вариант 1: $I = 0, \Delta h = 0, м$</i>				
1	$ИД_i$	1,98	2,05	2,21
2	$ЧДД_i$, грн./га	23329,35	25736,58	33455,62
3	$ДСО_i$, года	7	6	5
<i>Вариант 2: $I = 0,002, \Delta h = 0,4, м$</i>				
1	$ИД_i$	1,64	1,64	1,62
2	$ЧДД_i$, грн./га	16913,38	17281,32	20221,96
3	$ДСО_i$, года	8	7	8
<i>Вариант 3: $I = 0,003, \Delta h = 0,6, м$</i>				
1	$ИД_i$	1,56	1,28	1,30
2	$ЧДД_i$, грн./га	15340,61	9562,32	11674,41
3	$ДСО_i$, года	8	10	11

Приведенные результаты иллюстрируют, что уровень развитости рельефа местности влияет как на технологическую, так и в целом на экономическую эффективность водорегулирования осушаемых земель, отражается на выборе оптимальных проектных решений соответствующих типа и конструкции мелиоративных систем.

Таким образом, современные методики эколого-экономического обоснования инвестиционных проектов, которые широко внедряются в отечественную практику, в большинстве случаев не адаптированы к особенностям функционирования каждой отдельной отрасли. Оценка мелиоративных проектов требует учета большого количества разнообразных природных и технических факторов, которые существенно влияют на конечный результат. Наряду с учетом рельефа местности для решения ряда сложных прогнозно-оптимизационных моделей следует учитывать типы почв, уровень природной водообеспеченности, агротехнические условия, проектную структуру севооборотов и др.

Литература

1. Аверьянов С. Ф. О расчёте осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания // Научные записки МИИВХ им. В. Р. Вильямса. – М., 1960. – Т. 22. – С. 3–13.
2. Афанасик Г. И., Жуков Л. Ф. Послойно-балансовая схема расчета водного режима почвы для целей его оптимального управления // Вопросы эксплуатации осушительно-увлажнительных систем. – Минск: Ураджай, 1983 – С. 15–22.
3. Бефани А. Н. Теория формирования дождевых паводков и методы их расчета. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – С. 278–292.
4. ДБН. В 2.4-1-99 Меліоративні системи та споруди. – Київ, 1999. – 174 с.
5. Иванов Н. Н. Ландшафтно-климатические зоны Земного шара – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – 228 с.
6. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы висот SRTM // Геопрофи. – 2010. – № 1. – С. 48–51.
7. Киндерис З. Б. Осушение земель в условиях холмистого рельефа. – М.: Колос, 1983. – 175 с.
8. Коваленко П. И., Яцык Н. В. Оптимизация уровненных режимов грунтовых вод в системах с двусторонним регулированием водного режима почв // Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем. – Киев: УкрНИИГиМ, 1985. – С. 8–16.
9. Козішкурт С. М. Про ерозійно-допустимі поливні норми при дощуванні земель півдня України // Вісник Рівненського державного технічного університету. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць. – Рівне, 1997. – Вип. 21. – С. 74–78.
10. Коптюк Р. М., Будз М. Д., Рокочинський А. М. Вплив нерівномірності рельєфу на будівництво та реконструкцію осушувальних систем // Меліорація і водне господарство : міжвідом. темат. наук. зб. – Київ: Аграрна наука, 2011. – Вип. 99. – С. 98–102.
11. Коптюк Р. М., Рокочинський А. М. Визначення величини поверхневого стоку в інженерних розрахунках мелиоративних систем з урахуванням рельєфу місцевості // Актуальні проблеми та перспективи розвитку водного господарства і меліорації земель : зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон: РВВ «Колос», 2009. – С. 84–86.

12. Коптюк Р. М., Рокочинський А. М. Врахування рельєфу місцевості в прогнозно-оптимізаційних розрахунках проектів нового будівництва й реконструкції осушувальних систем // Вісник національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. – Рівне, 2011. – Вип.1 (55). – С. 9–14.
13. Коптюк Р. М., Рокочинський А. М. Обґрунтування необхідності та сучасні підходи до оптимізації конструкцій осушувальних систем з урахуванням рельєфу місцевості // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. – Рівне, 2008. – Вип. 1 (41). – С. 476–483.
14. Коптюк Р. Н., Рокочинский А. Н. Оценка водного режима осушаемых земель с развитым рельефом // Повышение эффективности мелиораций и сельскохозяйственного использования мелиоративных земель : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 15–16 сент. 2009 г.) / РУП «Институт мелиорации». – Минск: Минфана, 2009. – С. 85–87.
15. Костяков А. Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.
16. Лазарчук М. О., Рокочинський А. М., Черенков А. В. Проектування осушувальних систем з основами САПР : практикум. – Київ: ІСДО, 1994. – 408 с.
17. Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Шашук В. А. Автоматизированное планирование водопользования на осушительно-увлажнительных системах // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 11. – С. 42–45.
18. Лихацевич А. П. К оценке точности уравнений водного баланса орошаемого поля // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 9. – С. 25–26.
19. Маслов Б. С. Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование. – М.: Колос, 1970. – 232 с.
20. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем : посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). – Рівне: НУВГП, 2008. – 64 с.
21. Методические указания по определению суммарного испарения сельскохозяйственных культур на осушаемых землях Украинской ССР: НТД 33-03-01-90 / сост. А. В. Яцык. – Киев, 1991. – 23 с.
22. Мольчак Я. А. Дождевой сток зоны избыточного увлажнения Украины (исследования и расчеты). – Львов: Вища школа ; изд-во при Львов. ун-те, 1984. – 144 с.
23. Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем : посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). – Київ ; Рівне: НУВГП, 2006. – 50 с.
24. Остапчик В. П. Планирование режимов орошения на основе биологического метода расчета водопотребления сельскохозяйственных культур : обзор. информация. – М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1981. – № 9. – 90 с.
25. Постельняк А. А. Оцінювання точності висот цифрових моделей рельєфу SRTM та ASTER GDEM // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – № 4. – С. 17–21.
26. Рокочинский А. Н. Методы оценки, прогноза и оптимизации управления водным режимом осушаемых земель // Экологические проблемы при водных мелиорациях. – Киев, 1996. – С. 67–76.
27. Рокочинский А. Н., Коптюк Р. Н. Модель прогноза водного режима технологий водорегулирования осушаемых земель с учетом рельефа местности // Достижения и перспективы инновационного развития мелиоративной науки Беларуси : доклады Междунар. науч. конф., посв. 100-летию Ин-та мелиорации (Минск, 14–16 дек. 2010 г.) / Национальная академия наук Беларуси, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011. – С. 317–323.
28. Рокочинский А. Н., Коптюк Р. Н. Учет поверхностного стока при оценке эффективности водорегулирования осушаемых земель с развитым рельефом // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. 1. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – С. 500–505.
29. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромащенко. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
30. Рокочинський А. М. Теоретичні та практичні аспекти оптимізації проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Рівне, 2001. – Вип. 1 (8). – С. 40–50.
31. Рокочинський А. М., Зубик Л. В. Модель з прогносної оцінки ефективності різних технологій водорегулювання осушуваних земель в проектах будівництва, реконструкції та експлуатації гідромеліоративних систем // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Рівне, 2000. – Вип. 2. – С. 63–71.
32. Рокочинський А. М., Шашук В. А., Зубик Л. В. Вихідні передумови до розробки моделі водного режиму осушуваних земель за змінних природно-меліоративних умов // Вісник Рівненського державного технічного університету. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць. – Спецвып. – Рівне, 1999. – С. 53–58.
33. Обґрунтування критеріїв оптимізації при будівництві й реконструкції осушувальних систем / А. М. Рокочинський, Н. А. Фроленкова, Л. М. Нестерук [та ін.] // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць. – Рівне, 2007. – Вип. 32. – С. 54–64.
34. Рокочинський А. М., Антонов О. Д., Шалай С. В. Інженерні вишукування для водогосподарського та природоохоронного будівництва : навч. посібник / за ред. А. М. Рокочинського. – Рівне: НУВГП, 2010. – 173 с.

35. Руководство по проектированию осушительных систем в Украинской ССР: НТД 33.63-074-87. – Киев, 1987. – 526 с.
36. Рычагов Г. И. Общая геоморфология : учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Моск. ун-та ; Наука, 2006. – 416 с.
37. Скрипник О. В., Сорока И. С., Кубышкин В. П. Технология регулирования водного режима осушаемых земель / под. ред. О. В.Скрипника. – Киев: Урожай, 1992. – 161 с.
38. Технические указания по проектированию на ЭВМ расчетных режимов увлажнения сельскохозяйственных культур на системах двустороннего действия Украинской ССР: НТД 33.63-089-89 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков [и др.]. – Ровно, 1990. – 53 с.
39. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2010. – 52 с.
40. Тимчасові рекомендації з оцінки інвестиційних проектів будівництва і реконструкції водогосподарських об'єктів та меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2013. – 43 с.
41. Тимчасові рекомендації з прогнозування оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2011. – 54 с.
42. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. – Рівне: НУВГП, 2007. – 257 с.
43. Харченко С. И. Управление водным режимом на мелиорируемых землях в Нечернозменной зоне (Гидрологические аспекты) – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 240 с.
44. Шебеко В. Ф., Закржевский П. И., Брагилевская Э. А. Гидрологические расчёты при проектировании осушительных и осушительно-увлажнительных систем. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 312 с.
45. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 135 с.

Глава 21. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ДРЕНАЖА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛЫНСКОГО ПОЛЕСЬЯ НА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

21.1. Обоснование необходимости и пути усовершенствования метода оптимизации параметров дренажа на осушаемых землях

На сегодняшний день широкомасштабное развитие мелиорации земель Западного Полесья Украины связано со значительными капиталовложениями, очень ощутимыми для экономики любой страны, но полученный эффект при этом составляет в лучшем случае 60...70 % от проектной. Одной из главных причин этого является несовершенство существующих методов проектирования и расчета мелиоративных систем [42].

Кроме того, вместе с необходимостью повышения экономической эффективности осушительных мелиораций сегодня чрезвычайно остро стоит проблема обоснованности мелиоративных мероприятий по экологическим требованиям [3,30]. То есть проекты строительства и реконструкции мелиоративных объектов должны предусматривать непосредственное влияние мелиоративной деятельности на все аспекты от ее реализации. Это требует разработки новых подходов и прогрессивных методов обоснования, прежде всего конструкции и параметров сельскохозяйственного дренажа как определяющего регулирующего элемента осушительной системы [30].

Теоретические основы науки о дренировании почвы были заложены трудами Дарси [46], Дюпюи [47], И. Буссинеска [45]. Разработанные ими теоретические основы расчета основных параметров сельскохозяйственного дренажа получили дальнейшее развитие в работах А. Н. Костякова [15], С. Ф. Аверьянова [1], В. В. Шестакова [40], Я. Олейника [24], М. Пивовара [25], В. Л. Полякова [27], А. И. Ивицкого [11], А. И. Муравей [21], В. А. Ионата [12], А. М. Янголь [44], Ш. А. Брусиловского [4], А. И. Голованова [9], В. Я. Шапрана [39], Л. Ф. Полушубка [13] Н. А. Лазарчука [17], В. Г. Муранова [20], Р. Еггельсманна [43], Д. Киркхема [49], Р. Гловера [48] и др.

Наибольшее распространение в практике проектирования дренажа на осушаемых землях получили зависимости, предложенные в свое время А. Н. Костяковым, С. Ф. Аверьяновым, А. М. Анголь, Я. Олейником, В. Л. Поляковым, В. С. Козловым, А. И. Ивицким, В. А. Ионатом, А. И. Мурашко и др.

В дальнейшем на разных этапах развития мелиоративной науки известными научными школами были определены два основных метода расчета параметров сельскохозяйственного дренажа: гидромеханический, основанный на теоретических основах движения воды в естественных и технических системах, и эмпирический, основанный преимущественно статистической обработке данных многочисленных натурных исследований. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Следует отметить, что гидромеханический метод определения расстояний между дренами является наиболее теоретически обоснованным, но он никоим образом не учитывает экономические, экологические, а также некоторые режимно-технологические аспекты работы дренажа.

Большинство полученных на основе этого метода формул не учитывают наличие начального градиента давления, что обуславливает движение воды [41]. Без учета этого условия погрешность определения расстояния между дренами может составить от 3 до 40 % в зависимости от продолжительности периода осушения.

Существенным недостатком гидромеханических формул является также неучет условий формирования дренажного стока в фазе подъема уровня грунтовых вод, которая является более напряженной по сравнению с фазой их спада [41].

Однако, как наиболее теоретически обоснованный, этот метод позволяет осуществлять качественный анализ факторов гидрологического действия дренажа, гидродинамических процессов, происходящих в почвах.

Гидромеханические формулы имеют также огромное значение при обобщении данных полевых исследований дренажа, в этом плане их роль трудно переоценить.

В практике проектирования дренажных систем широко распространен также эмпирический метод, по которому расстояние между дренами устанавливается в зависимости от одного или нескольких факторов, влияющих на интенсивность осушения (гранулометрический состав, физико-химические свойства почвы, интенсивность атмосферных осадков, водопроницаемость пород и др.). В его основу положено предположение о том, что чем тяжелее почвы и ниже их фильтрационные свойства, тем меньше должны быть расстояния между дренами.

Так, Миттерлих [26] предлагает соотношение между расстоянием B и глубиной h в определять в зависимости от гигроскопической влагоемкости почвы

$$\frac{B}{\epsilon} = 23,6 - 14l_g W, \quad (21.1)$$

а Х. А. Писарьков [26] по следующей формуле

$$B = N \frac{\epsilon - H_p}{\sqrt{5P}}, \quad (21.2)$$

где B – расстояние между дренами, м; ϵ – глубина дренажа, м; P – среднесуточная интенсивность осадков, мм; N – коэффициент, зависящий от гранулометрического состава почвы.

Для гумидной зоны Украины В. П. Кубышкин [16] рекомендует определять расстояния между дренами через их оптимальные значения для определенного вида грунта, которые корректируются экспериментально определенными поправочными коэффициентами, а именно

$$B_p = B_{on} \cdot K_c \cdot K_\gamma \cdot K_n \cdot K_\delta \cdot K_u \cdot K_\kappa, \quad (21.3)$$

где B_{on} – оптимальное расстояние между дренами, что определяется по таблице в зависимости от генетического типа почвы, коэффициентов фильтрации и уклонов поверхности земли; $K_c, K_\gamma, K_n, K_\delta, K_u, K_\kappa$ – поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно высоту уклона над его подошвой, экспозицию уклона, напор грунтовых вод, глубину заложения дрен, степень увлажненности территории, характер хозяйственного использования осушаемой территории.

Но, как показывает практика, эмпирический метод требует значительных затрат на его реализацию и одновременно имеет очень ограниченные рамки применения, определенные зональными условиями расположения исследуемого объекта.

Наибольшее распространение в практике проектирования дренажа на осушаемых землях получили формулы ДБН В.2.4-1-99 с учетом разработок А. Я. Олейника и А. И. Мурашко [10] для однородных и слоистых почв в условиях атмосферно-почвенного питания.

Данные формулы достаточно полно учитывают конструктивные особенности материального горизонтального дренажа и реализуются:

а) для случая неглубокого водоупора, когда $m_D \leq E/4$

$$E_i = 4 \left(\sqrt{L_{fi}^2 + \frac{HT}{2q_i}} - L_{fi} \right), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (21.4)$$

б) для случая глубокого водоупора, когда $m_D > E/4$

$$E_i = \frac{2\pi k_\phi H}{q_i [\ln(2E_i/\pi D_i) + \Phi_i]}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (21.5)$$

где m_D – расстояние от оси дрены до водоупора, м; E – расстояние между дренами, м; L_f – общие фильтрационные опоры по степени и характеру вскрытия пласта

$$L_f = \frac{m_D}{\pi} \left[\ln\left(\frac{2m_D}{\pi D}\right) + \frac{2h_0}{m_D} \ln\left(\frac{4h_0}{\pi m_D}\right) + \left(1 + \frac{2h_0}{m_D}\right) \Phi \right], \text{ м}; \quad (21.6)$$

где $h_0 = 0,5H$, м; H – расчетный напор, м; T – водопроницаемость пласта, м²/сутки; q – интенсивность инфильтрационного питания, м/сут; k_ϕ – коэффициент фильтрации грунта, м/сут; D – наружный диаметр дрены, м; Φ – фильтрационные опоры по характеру вскрытия пласта в зависимости от конструкции дрен.

Сегодня наиболее перспективным считается экономико-математический метод, сочетающий в себе преимущества гидромеханического и эмпирического методов и основывающийся на реализации комплекса прогнозно-оптимизационных расчетов (К. Т. Хоммик [36], И. С. Рабочев [28], И. В. Минаев [19], Ю. Н. Никольский [23], Н. А. Лазарчук [18], А. Н. Рокочинский [30,18], А. В. Черенков [37], В. Г. Муранов [18] и др.

В свое время данный метод был усовершенствован Н. А. Лазарчуком и В. Г. Мурановым [33], которые предлагали, в частности, при расчетах оптимальных параметров дренажа рассматривать минимизацию критерия приведенных затрат на реализацию технического решения и соответствующих им возможных потерь урожая сельскохозяйственных культур при отклонении водного режима осушаемых земель от оптимального в расчетный (посевной) период [18]

$$ZP_i + \Delta Y_i \rightarrow \min , \quad (21.7)$$

где ZP_i – удельные приведенные затраты; ΔY_i – математическое снижение урожайности сельскохозяйственных культур проектной севооборота по соответствующему и-тому варианту.

Используя этот метод, расстояния между дренами определяют по формулам (21.4)–(21.6) в зависимости от комплекса грунтовых и гидрогеологических условий, конструктивных особенностей дрена, структуры севооборота, глубины заложения дрена. При этом междреннее расстояние определяют при достижении только максимального экономического эффекта от осушения земель в заданных условиях.

Однако в условиях перехода на рыночные отношения данный метод в том виде, как он реализован, уже не позволяет дифференцированно определять оптимальные параметры дренажа по различным уровням производительности выращиваемых культур с соблюдением современных экономических и экологических требований в переменных природно-агротехнических (грунтовых, гидрогеологических, климатических, агротехнических, экономических и экологических) условиях реального объекта, а потому нуждается в дальнейшем совершенствовании.

21.2. Оптимизация параметров дренажа на осушаемых землях по экономическим и экологическим требованиям

Недостижение проектной эффективности мелиорации определяется недостатком наших знаний о результатах взаимодействия мелиоративной деятельности человека с природными процессами и их учета при проектировании. На мелиорированных землях и прилегающих к ним территориях развиваются в непредсказуемых масштабах процессы с негативными явлениями, которые резко снижают эффективность мелиорации.

Более того, попытки получить за счет мелиорации максимум сельскохозяйственной продукции без учета требований охраны окружающей среды привело в ряде случаев к кризисным ситуациям в области экологии. Однако, несмотря на это, дальнейшее развитие мелиорации должно происходить, но на принципиально новом уровне, который обеспечивает не только высокую и устойчивую эффективность сельского хозяйства, но и экологическую устойчивость [30, 29].

21.2.1. Подходы к построению комплексной модели оптимизации параметров сельскохозяйственного дренажа по множественным переменным природно-агротехническим условиям объекта. Вместе с необходимостью повышения экономической эффективности осушительных мелиораций сегодня чрезвычайно остро стоит проблема обоснованности мелиоративных мероприятий по экологическим требованиям. Решение такой сложной междисциплинарной проблемы возможно только благодаря осуществлению на практике принятой современной концепции развития мелиорации вообще, основанной на оптимизации водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель через обоснование гидромелиоративных мероприятий на эколого-экономических основах. При этом оптимизация параметров дренажа является определяющей составляющей природно-мелиоративного режима, что обусловлено необходимостью согласования противоречивых потребностей в водорегулировании урожая выращиваемых культур и создаваемого экологического эффекта [30].

Итак, по результатам рассмотренных предпосылок, связанных с общей постановкой и путями решения проблемы оптимизации водного и общего природно-мелиоративного режимов, а также по соответствующим подходам к решению оптимизационных задач в сложных природно-технических системах А. Н. Рокочинским разработаны принципы построения и реализации комплексной модели оптимизации водорегулирования осушаемых земель, которая отвечает современным экологическим и экономическим требованиям [30].

Данная модель работает на двух уровнях:

- мелиорированного поля с выращиваемыми сельскохозяйственными культурами и регулирующей сетью, где приобретает урожай и экологический и экономический эффект с учетом сложного комплекса природных, агротехнических и мелиоративных факторов для вариантов проектных решений (ПР) по способам водорегулирования;

- на уровне системы в целом, главной задачей которой является управление водным и общим природно-мелиоративным режимом по соответствующим схемам водорегулирования.

С учетом системного анализа [30, 29] методологической основой решения проблемы обоснования оптимальных параметров сельскохозяйственного дренажа осушаемых земель на эколого-экономических основах является рассмотрение мелиоративных систем как сложных природно-технических систем (ПТС) с более точным учетом, прежде всего меняющихся во времени и неопределенных по своему

характеру природно-климатических условий. При этом известно, что определяющей составляющей осушительной системы является дренаж как главный регулирующий элемент. В свою очередь, параметры дренажа определяющим образом влияют на стоимость осушительной системы в целом, поэтому их обоснование с учетом эколого-экономических аспектов выступает необходимым условием при разработке проектов водорегулирования на мелиорированных землях.

В связи с этим построение модели оптимизации конструктивных решений по дренажу базируется на системном подходе как методологической основе и включает в себя декомпозицию (расчленение) сложных целей и задач, присущих таким системам, а также применение методологии нисходящей иерархии анализа и восходящей иерархии синтеза для достижения отдельных целей и решения отдельных задач, входящих как составляющие к создаваемому комплексу прогнозно-оптимизационных моделей и методов их реализации.

В свою очередь, дренаж является основным техническим элементом гидромелиоративной системы (ГМС) и выполняет функцию регулирования водного и общего природно-мелиоративного режима в рамках системы, а его конструктивные параметры определяются прежде всего имеющимися почвенно-мелиоративными условиями.

Элементами системы сельскохозяйственного производства (ССВ) в пределах мелиоративной системы (МС) выступают природно-агротехнические элементы – почвенно-мелиоративная разница и почвы, на которых выращиваются сельскохозяйственные культуры.

Таким образом, ГМС вместе с ССВ одновременно зависят и влияют на окружающую среду, создавая общую природно-мелиоративную обстановку.

Поэтому, по аналогии с А. Н. Рокочинским [30], и в отличие от оптимизационного метода, примененного В. Г. Мурановым и Н. А. Лазарчуком [17, 18], оптимальные параметры дренажа могут быть определены по комплексной модели оптимизации, построенной с учетом климатологической стратегии управления объектом, которая позволяет определить экономически целесообразные и экологически приемлемые ПР по соответствующим критериям

$$\begin{cases} ZP_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} ZP_{ip} \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}; \\ q_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} |q_s - \mathcal{E}_{\text{экол}}| \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (21.8)$$

где ZP_0 – оптимальное значение критерия по i -му варианту ПР по конструкции и параметрам дренажа совокупности $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$; α_p – известные (установленные или заданные) значения повторяемости или долевого участия возможного состояния типичных метеорологических режимов в расчетные периоды вегетации в пределах проектного срока функционирования объекта, $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$; q_0 – оптимальное значение по экологическим условиям модуля дренажного стока по i -му варианту; q_s – прогнозируемое средневзвешенное эффективное (проектное) значение модуля дренажного стока в пределах системы и проектного срока функционирования объекта по i -му варианту ПР; $\mathcal{E}_{\text{экол}}$ – значение модуля дренажного стока, соответствующее экологическому уровню эффективности работы дренажа; i – варианты ПР совокупности $\{i\}$.

В развитие подходов А. Н. Рокочинского и исследований Н. А. Фроленковой [35] за общий экономический критерий оптимизации принимаются **приведенные затраты** Z , с учетом погодноклиматического риска R_i они сведены к сравнительному виду ZP по объему (стоимости) V получаемой продукции по соответствующим вариантам ПР $\{i\}$

$$ZP_i = \frac{(C_i^{\text{сз}} + C_i^{\text{м}} + A_i + E_n \cdot K_i + R_i)}{V_i}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (21.9)$$

где $C_i^{\text{сз}}$ – сельскохозяйственные затраты при выращивании сельскохозяйственных культур по i -му варианту ПР, грн/га ; $C_i^{\text{м}}$ – мелиоративные затраты или затраты на эксплуатацию по i -му варианту ПР, грн/га ; A_i – амортизационные затраты по i -му варианту ПР, грн/га ; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений на устройство дренажа; K_i – капиталь-

ные вложения в строительство по i -му варианту ПР, грн/га. При этом погодно-климатический риск определяется

$$R_i = \sqrt{(V_i - \bar{V}_i)^2}, \quad (21.10)$$

где V_i – стоимость валовой продукции по фактической урожайности, полученной за i -м вариантом ПР; \bar{V}_i – стоимость валовой продукции по потенциально возможной урожайности на объекте.

Поскольку работа дренажа в режиме осушения приводит к усилению промывного водного режима и, как следствие, к снижению плодородия почв из-за вымывания питательных веществ и нарушения структуры почв, поэтому, с учетом исследований А. Н. Рокочинского [30, 31], критерием экологической оптимальности ПР относительно параметров дренажа может выступать отклонение средневзвешенного значения модуля дренажного стока в пределах системы и проектного срока функционирования объекта q_s от предельного значения модуля дренажного стока $\bar{q}_{\text{экол}}$, что соответствует экологическому уровню эффективности работы дренажа в исследуемых условиях.

21.2.2. Принципы построения и реализации комплексной модели оптимизации параметров дренажа. Все составляющие комплексной модели оптимизации, такие как технико-экономические показатели, входящие в состав экономико-математической модели, а также экологический показатель (критерий) водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, определяются параметрами дренажа, являются переменными и зависят от многих факторов, главные из которых – конструктивно-технологические, природно-климатические, почвенно-мелиоративные, агротехнические и другие условия объекта:

– *конструктивно-технологические множественные переменные*: виды дренажа по материалу изготовления совокупности $\{b\}$, $b = \overline{1, n_b}$; конструкции дренажа по разным диаметрам труб совокупности $\{d\}$, $d = \overline{1, n_d}$; конструкции фильтров дренажа совокупности $\{\varphi\}$, $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$; расчетные схемы работы дренажа в зависимости от имеющихся почвенно-мелиоративных различностей совокупности $\{m_g\}$, $m_g = \overline{1, n_{m_g}}$;

– *прогнозно-имитационные множественные переменные*: метеорологические станции или посты в пределах системы совокупности $\{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$; расчетные по условиям тепло- и влагообеспеченности периоды вегетации совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$; виды осушаемых почв совокупности $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$; выращиваемые сельскохозяйственные культуры проектного севооборота совокупности $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$; способы водорегулирования осушаемых земель совокупности $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ (в нашем случае $s = 1$ – осушение).

Соотношение между вариантами конструктивно-технологических ПР и множественными природно-агро-мелиоративными условиями объекта представлены на рисунке 21.1.

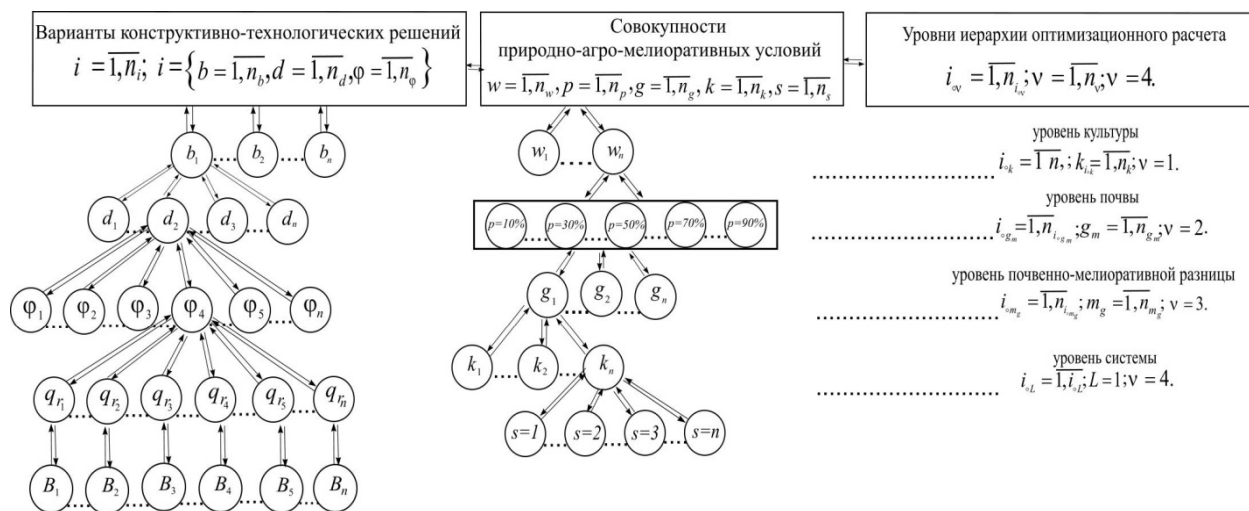


Рис. 21.1. Соотношение между вариантами конструктивно-технологических ПР и множественными природно-агро-мелиоративными условиями объекта

По аналогии с литературными источниками [30, 29, 22] принципы построения и реализации модели оптимизации основаны на связанных между собой конструктивно-технологическом, прогнозно-имитационном и оптимизационном блоках моделей для обоснования оптимальных параметров дренажа и их влияния на урожай выращиваемых культур, а также создаваемый экономический и экологический эффекты (рис. 21.2).

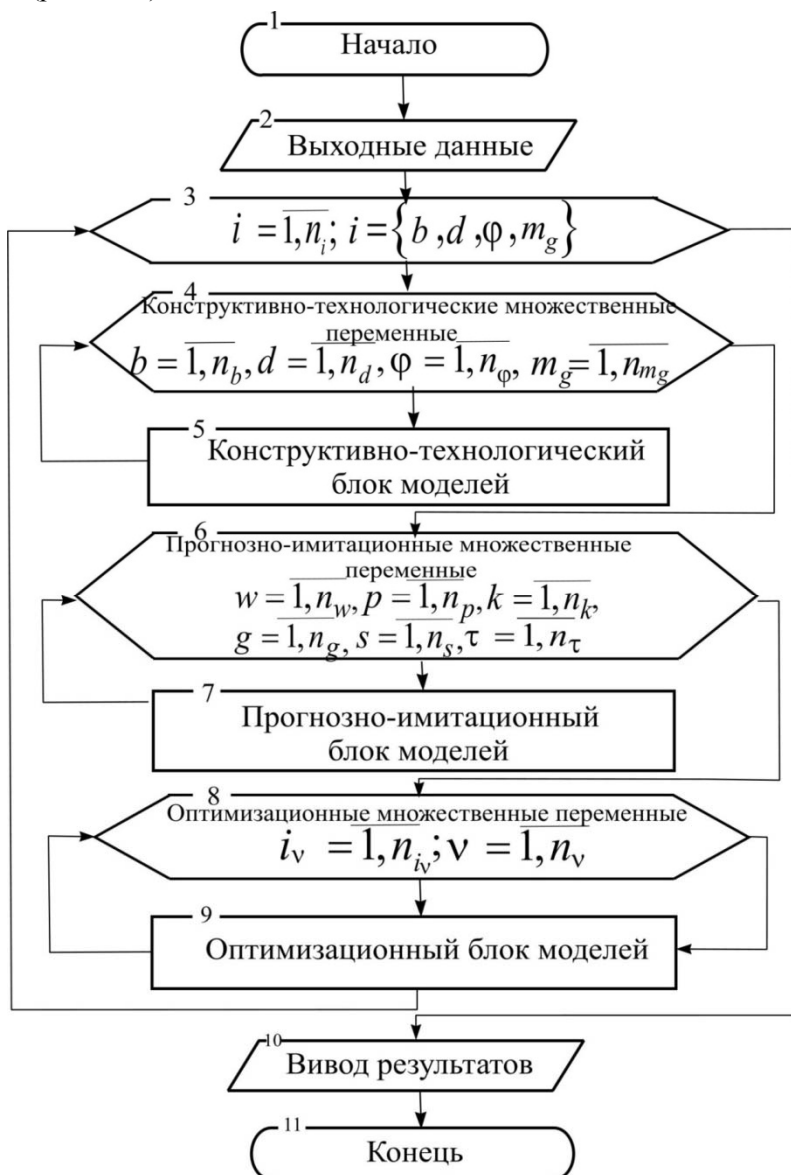


Рис. 21.2. Обобщенная блок-схема построения и реализации комплексной модели оптимизации параметров дренажа

Характерными особенностями данной разработанной структуры являются блочное ее построение и цикличность осуществления расчетов. При этом выделяются такие относительно самостоятельные обобщающие блоки:

- блок формирования исходных данных по совокупностям основных природно-климатических, почвенно-мелиоративных, конструктивно-технологических и других факторов, которые определяющим образом влияют на выбор параметров дренажа (блок 2, рис. 21.2);

- блок формирования вариантов ПР совокупности $\{i\}, i = \overline{1, n_i}$ по множественным конструктивно-технологическим переменным относительно конструктивных параметров дренажа (блок 3, рис. 21.2);

- блок конструктивно-технологических множественных переменных относительно конструктивных параметров дренажа по совокупностям: $\{b\}, b = \overline{1, n_b}$; $\{d\}, d = \overline{1, n_d}$; $\{\varphi\}, \varphi = \overline{1, n_\varphi}$; $\{m_g\}, m_g = \overline{1, n_{m_g}}$ (блок 4, рис. 21.2);

– блок конструктивно-технологических моделей предусматривает обоснование и определение значений модулей дренажного стока относительно уровней эффективности работы дренажа по вариантам ПР совокупности $\{q_{ri}\}$, $q_{ri} = \overline{1, n_{q_i}}$, $r = \overline{1, n_r}$, $i = \overline{1, n_i}$ и соответствующих расстояний между дренами совокупности, $\{B_{ri}\}$, $B_{ri} = \overline{1, n_{B_i}}$, $r = \overline{1, n_r}$, $i = \overline{1, n_i}$ (блок 5, рис. 21.2);

– блок формирования прогнозно-имитационных множественных переменных условий исследуемого объекта по совокупностям: $\{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$; $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$; $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$; $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$; $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$, (в данном случае $s = 1$ – осушение); $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ (блок 6, рис. 21.2);

– блок прогнозно-имитационных моделей предполагает реализацию прогнозной оценки на долгосрочной основе климатических условий местности, водного режима, технологий водорегулирования и продуктивности осушаемых земель, определения дифференцированных значений урожайности выращиваемых культур по вариантам ПР совокупности $\{Y_{ri}\}$, $Y_{ri} = \overline{1, n_{Y_i}}$, $r = \overline{1, n_r}$, $i = \overline{1, n_i}$ (блок 7, рис. 21.2);

– блок формирования оптимизационных множественных переменных совокупности $\{i_v\}$, $i_v = \overline{1, n_{i_v}}$, $v = \overline{1, n_v}$ (блок 8, рис. 21.2);

– блок оптимизационных моделей предполагает определение критериев оптимизации по вариантам ПР $\{ZP_i\}$, $i = \overline{1, n_i}$, относительно уровней иерархии реализации модели оптимизации $\{ZP_{iv}\}$, $i = \overline{1, n_i}$, $v = \overline{1, n_v}$, а также оптимального решения по параметрам дренажа в заданных условиях $i_0 = \{ZP_0, q_0, B_0\}$ (блок 9, рис. 21.2);

– блок формирования и вывода каких-либо промежуточных (при необходимости) или окончательных результатов прогнозно-оптимизационных расчетов на любом этапе их выполнения (блок 10, рис. 21.2).

Приведенная на рисунке 21.2 общая универсальная структура прогнозно-оптимизационных расчетов будет несколько изменяться в каждом конкретном случае ее применения в зависимости от уровня оптимизационной задачи, которая решается принятой к рассмотрению n -уровневой иерархической структуры их выполнения и конкретных природно-агротелиоративных и других условий объекта управления.

Условием реализации комплексной модели оптимизации выступает так называемая производственная функция как основа функции оптимизации, которая в нашем случае должна учитывать технологические, экономические и экологические аспекты работы дренажа. При этом, реализация экономической составляющей комплексной модели оптимизации параметров дренажа по аналогии с А. Н. Рокочинским [30] может быть представлена как подсистема вида **урожай сельскохозяйственных культур (Y) \Leftrightarrow модуль дренажного стока (q) \Leftrightarrow расстояние между дренами (B)**, где модуль дренажного стока выступает ключевым звеном.

Тогда, введя необходимые обозначения, функциональная связь между составляющими указанной подсистемы в общем случае может быть представлена в неявном виде как:

$$Y_i = f_1(f_2(B_i)), i = \overline{1, n_i}. \quad (21.11)$$

Функция (21.11) в нашем случае выступает как основа производственной функции комплексной модели оптимизации, но она не имеет заведомого решения, вместе с тем ее элементы и функциональная связь между ними уже имеют примеры реализации на научном и производственном уровне относительно зависимости между параметрами дренажа (B_i) и технологий водорегулирования (q_i), как обратной функции

$$B_i = f_1'(q_i), \quad (21.12)$$

и соответствующей зависимости между параметрами эффекта (Y_i) и технологий водорегулирования (q_i)

$$Y_i = f_2(q_i). \quad (21.13)$$

В существующих методах расчета дренажа, как традиционных, так и экономико-математических, преобладает подход к определению его параметров по единичным расчетным значениям величины модуля дренажного стока с соблюдением только технологических требований к его работе по снижению уровня грунтовых вод и отводу избыточной воды с активной корнеобитаемой зоны осушаемой почвы в весенний (основной расчетный) период.

Исходя из современных технологических, экономических и экологических требований к работе дренажа при реализации комплексной модели оптимизации (21.8) нами предлагается определять

множество расчетных значений модуля дренажного стока с учетом различных уровней урожайности, ценности и рентабельности выращиваемых культур и соответствующих уровней эффективности работы дренажа в условиях реального объекта.

Таким образом, возникает необходимость в решении следующего комплекса задач, связанных с разработкой конструктивно-технологических, прогнозно-имитационных и оптимизационных моделей. Рассмотрению и решению указанного круга вопросов посвящены следующие разделы.

21.3. Обоснование конструктивно-технологических и эколого-экономических параметров дренажа

Необходимость усовершенствования методов оптимизации параметров сельскохозяйственного дренажа по множественным переменным природно-агробиотических условий (климатические, гидрологические, агротехнические, технологические) реального объекта (см. пункт 21.1), которые основаны на системном рассмотрении мелиоративных объектов как сложных природно-технических систем. Поэтому принципы построения и реализации модели оптимизации основаны на связанных между собой конструктивно-технологическом, прогнозно-имитационном и оптимизационных блоках моделей для обоснования оптимальных параметров дренажа и их влияния на урожай выращиваемых культур и создаваемые экономический и экологический эффекты.

21.3.1. Принципы построения и реализации конструктивно-технологического блока модели. Блок конструктивно-технологических моделей предназначен для обоснования множества модулей дренажного стока во всевозможных альтернативных вариантах ПР относительно параметров дренажа по условиям реального объекта.

Возможные варианты ПР относительно параметров дренажа могут быть формализованы в таком виде

$$i = \overline{1, n_i}; i = \{b, d, \varphi, m_g\}. \quad (21.14)$$

В свою очередь, все варианты ПР совокупности $\{i\} i = \overline{1, n_i}$ должны быть реализованы всеми соответствующими совокупностями множественных переменных условий исследуемого объекта: $\{\omega\}, \omega = \overline{1, n_\omega}; \{p\}, p = \overline{1, n_p}; \{g\}, g = \overline{1, n_g}; \{k\}, k = \overline{1, n_k}; \{s\}, s = \overline{1, n_s}$ (в этом случае $s = 1$ – осушение).

Поскольку основным (расчетным) периодом работы дренажа является весна, влияние его работы на формирование урожая выращиваемых культур согласно В. Г. Муранову [20] и другим авторам может быть оценено через связь между параметрами эффекта (Y_i) и суммой положительных среднесуточных температур воздуха ($^{\circ}C$), накопленной после даты оптимального срока посева или возобновления вегетации ($\sum T_k^e$), как параметрами соответствующего природно-мелиоративного режима

$$Y_i = f_2(\sum T_k^e). \quad (21.15)$$

В свою очередь, зависимость (21.15) может быть выражена

$$q_k^r = f_2'(U_k^r, \sum \mathcal{F}_{kr}^e). \quad (21.16)$$

В таком виде она отражает взаимосвязь между различными уровнями эффективности работы дренажа совокупности $\{q_r\}, r = \overline{1, n}$ ($r = 1$ – экологический, $r = 2$ – технологический, $r = 3$ – экономический) в весенний расчетный период и урожайностью (рентабельностью и ценностью) выращиваемых культур $U_k^r = f(Y_k^r)$, ($U_k^{(1)}$ – низкий $U_k^{(2)}$ – средний $U_k^{(3)}$ – высокий) с соответствующими значениями определенного нами максимального отклонения суммы среднесуточных температур воздуха, накопленных с момента оптимального срока посева или возобновления вегетации $\sum \mathcal{F}_{kr}^e$ в зоне их биологического оптимума (рис. 21.3).

Исходные значения модуля дренажного стока по различным уровням эффективности работы дренажа $\{q_r\}, r = \overline{1, n_r}$ могут быть определены по уточненной нами эмпирической формуле В. Г. Муранова [20]

$$q_r = \left(\frac{A_z \cdot \mu^{0,5}}{\sum \mathcal{F}_{kr}^e + B_z} \right)^{0,5}, r = \overline{1, n_r}. \quad (21.17)$$

где A_z и B_z – зональные эмпирические коэффициенты, зависящие от местонахождения объекта; μ – коэффициент водоотдачи грунта.

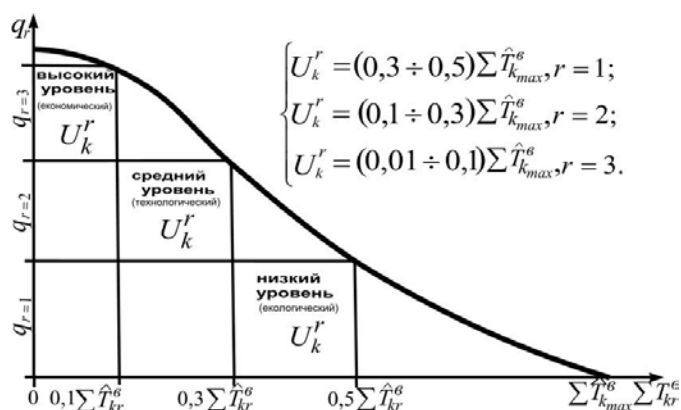


Рис. 21.3. Общая схема зависимости $q_r, r = \overline{1, n_r}$ от $\sum \mathcal{F}_{kr}^e$ для k -той культуры по экологическому, технологическому и экономическому уровням эффективности работы дренажа

В свою очередь, значения $\sum \mathcal{F}_k^e$ определяются как соответствующие максимальные значения отклонения срока сева или возобновления вегетации (градусодней) выращиваемых культур и снижение их урожая по коэффициенту k_3 , что описывается эмпирической зависимостью вида

$$k_3 = \frac{1 - (\lambda_k \cdot \sum \mathcal{F}_k^e)^2}{1 + (\lambda_k \cdot \sum \mathcal{F}_k^e)^2}, \quad (21.18)$$

где λ_k – эмпирический коэффициент.

Соответствующие значения $\lambda_k, \sum \mathcal{F}_{k_{\max}}^e$, и $\sum \mathcal{F}_{kr}^e$ по различным уровням эффективности работы дренажа $\{r\}, r = \overline{1, n_r}$ для основных видов и продукции выращиваемых культур на осушаемых землях приведены в таблице 21.17.

Таблица 21.1

Значения $\lambda_k, \sum \mathcal{F}_{k_{\max}}^e$, и $\sum \mathcal{F}_{kr}^e$ по различным уровням эффективности работы дренажа $\{r\}, r = \overline{1, n_r}$, для основных видов и продукции выращиваемых культур

№ п/п	Вид культуры	Основная продукция	λ_k	$\sum \mathcal{F}_{k_{\max}}^e, ^\circ C$	$\sum \mathcal{F}_{kr}^e, ^\circ C$		
					$r = 1$	$r = 2$	$r = 3$
1	зернобобовые	зерно	$1,6 \cdot 10^{-6}$	760	380	228	76
2	зернобобовые	зеленая	$9,2 \cdot 10^{-6}$	325	162,5	97,5	32,5
3	яровые зерновые	зерно	$3,6 \cdot 10^{-6}$	520	260	156	52
4	озимые зерновые	зерно	$2,6 \cdot 10^{-6}$	550	275	165	55
5	лен	волокно	$5,1 \cdot 10^{-6}$	400	200	120	40
6	картофель	картошка	$1,8 \cdot 10^{-6}$	730	365	219	73
7	сахарная свекла	корни	$1,3 \cdot 10^{-6}$	860	430	258	86
8	кормовая свекла	корни	$1,2 \cdot 10^{-6}$	850	425	255	85
9	столовая свекла	корни	$1,5 \cdot 10^{-6}$	775	387,5	232,5	77,5
10	морковь	корни	$1,4 \cdot 10^{-6}$	770	385	231	77
11	помидоры	томаты	$1,7 \cdot 10^{-6}$	740	370	222	74
12	капуста поздняя	кочаны	$2,2 \cdot 10^{-6}$	655	327,5	196,5	65,5
13	однолетние травы	зеленая	$1,3 \cdot 10^{-6}$	865	432,5	259,5	86,5
14	многолетние травы	сено	$1,5 \cdot 10^{-6}$	820	410	246	82
15	кукуруза	зерно	$2,8 \cdot 10^{-6}$	530	265	159	53
16	кукуруза	зеленая	$5,8 \cdot 10^{-6}$	410	205	123	41
17	пастбища	зеленая	$3,4 \cdot 10^{-6}$	490	245	147	49

Расчетные значения модуля дренажного стока совокупности $\{ \overline{q_{rp}} \}, r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}$ по расчетным периодам вегетации с учетом их тепло-и влагообеспеченности в пределах проектного срока функционирования объекта могут быть определены как:

$$\overline{q_{rp}} = q_r \cdot K_p^T \cdot K_p^P, r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}. \quad (21.19)$$

где коэффициент K_p^T учитывает условия теплообеспеченности периода вегетации k -той культуры и определяется на основе соотношения среднедекадного значения суммы эффективных температур воздуха за p -й расчетный период вегетации совокупности $\{p\}, p = \overline{1, n_p}$ к соответствующей сумме эффективных температур воздуха по среднеголетней норме выращиваемой культуры. Аналогично коэффициент K_p^P учитывает условия влагообеспеченности периода вегетации k -той культуры.

Таким образом, на основании рассматриваемого подхода могут быть определены и использованы в оптимизационных расчетах значения модулей дренажного стока по экономическим, технологическим и экологическим уровням эффективности работы дренажа для основных выращиваемых культур на осушаемых землях.

Что касается функции между параметрами дренажа (B_i) и технологий водорегулирования (q_i) как обратной функции вида

$$B_i = f_1'(q_i), \quad (21.20)$$

то в настоящее время разработано значительное количество разных по своей сути методов и моделей по определению параметров сельскохозяйственного дренажа как в нашей стране, так и за ее пределами (А. Н. Костяков [15], А. Н. Янголь [44], С. Ф. Аверьянов [2], А. Я. Олейник [24], М. Г. Пивовар [25], В. Л. Поляков [27], Л. Ф. Кожушком [13], А. В. Черновым [37], Г. И. Сапсаем [32] и др. Мы считаем целесообразным использовать общепринятую формулу (21.4–21.6) согласно ДБН В.2.4-1-99 с учетом разработок А. Я. Олейника [24] и А. И. Мурашко [21], которая достаточно полно учитывает конструктивные особенности материального горизонтального дренажа (см. пункт 21.1). Эффективность ее применения подтверждена другими исследователями и практикой как в зоне осушительных, так и оросительных мелиораций.

Таким образом, по результатам реализации конструктивно-технологического блока моделей определены множественные значения модулей дренажного стока по вариантам ПР совокупности $\{q_{rpi}\}, q_{rpi} = \overline{1, n_{q_{rpi}}}, r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}, i = \overline{1, n_i}$ и соответствующих расстояний между дренами совокупности $\{B_{rpi}\}, B_{rpi} = \overline{1, n_{B_{rpi}}}, r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}, i = \overline{1, n_i}$.

Итак, результаты реализации модели параметров дренажа являются исходными данными для дальнейшей реализации прогнозно-имитационного и оптимизационного блоков моделей.

21.3.2. Принципы построения и реализации прогнозно-имитационного блока моделей.

Главной задачей прогнозно-имитационного блока моделей является определение дифференцированных значений урожайности выращиваемых культур по соответствующим вариантам ПР относительно параметров дренажа, а также прогнозных значений модулей дренажного стока для проверки эффективности его работы.

Считаем, что для определения урожайности выращиваемых культур на ОС целесообразно за основу использовать модель А. Н. Рокочинского и С. В. Шалая [38], которая из существующих моделей наиболее полно отвечает требованиям практичности их использования в прогнозно-оптимизационных расчетах на долгосрочной основе ОС и их составляющих. Она представлена в виде сложной комплексной модели мультипликативного типа, выраженной через произведение функций влияния определяющих факторов на формирование урожая по системе соответствующих коэффициентов:

$$Y_{kagsp}^F = Y_{akp}^F \cdot \prod_{i=1}^{n_i} K_i = Y_{akp}^F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, i = \overline{1, n_i}, \quad (21.21)$$

где Y_{akp}^F – климатически обеспеченная урожайность за вегетацию k -й культуры; K_1 – коэффициент снижения урожайности по бонитету почвы ($0 \leq K_1 \leq 1$); K_2 – коэффициент увеличения урожайности по внесенным удобрениям, ($K_2 > 1$, но $0 < K_1 K_2 \leq 1$); K_3 – коэффициент снижения урожайности при отклонении срока сева или возобновления вегетации от оптимальных значений ($0 \leq K_3 \leq 1$); K_4 – коэффициент влияния природно-мелиоративных условий (климата ω , p и технологий водорегулирова-

ния s) периода вегетации культуры на формирование урожайности ($0 \leq K_4 \leq 1$); K_5 – коэффициент снижения урожайности при отклонении срока уборки от оптимальных значений ($0 \leq K_5 \leq 1$); K_6 – коэффициент уменьшения урожайности за счет потерь при уборке и транспортировке ($0 < K_6 \leq 1$).

Важной составляющей модели (21.21) является коэффициент K_3 , который характеризует влияние работы дренажа на формирование урожая в весенний основной расчетный период. В соответствии с результатами исследований, изложенных в литературных источниках [17, 20], рекомендуется принимать показатель $K_3 = 1$ для стадии проекта мелиоративных объектов в случае, если конструкция и параметры дренажа обеспечивают требуемый водно-воздушный режим почвы в посевной период. В соответствии с подходом В. Г. Муранова [20] этот показатель может определяться по эмпирической зависимости через связи потерь урожая сельскохозяйственных культур вследствие отклонения сроков их сева и возобновления вегетации от оптимальных значений [20]. Однако данные подходы не позволяют дифференцировать урожайность культур в соответствии с возможными вариантами конструкций и параметров дренажа с учетом множественных природно-агромелиоративных условий реальных объектов [22, 5]. Поэтому для решения данной задачи необходимо установить связь в подсистеме вида *урожай* (Y) \Leftrightarrow *модуль дренажного стока* (q) в весенний период, которая является составляющей более общей системы *урожай* (Y) \Leftrightarrow *модуль дренажного стока* (q) \Leftrightarrow *расстояние между дренажами* (E) в виде функции.

$$Y_i = f_1(q_i). \quad (21.22)$$

Функция (21.22) ввиду ее чрезвычайной сложности прямого решения не имеет, поэтому по аналогии с [30] нами введен коэффициент K_d , изменяющейся в интервале $[0,1]$ и характеризующий влияние работы дренажа в весенний расчетный период на формирование урожая в относительном виде каждой культуры проектного севооборота в зависимости от ее вида, урожайности и рентабельности.

Тогда

$$k_{d_i} = f_2(q_i), \quad (21.23)$$

а

$$Y_i = f_3(k_{d_i}). \quad (21.24)$$

Для реализации функции (21.24) может быть использован уже апробированный подход [30, 7, 8], устанавливающий связь урожайности выращиваемых культур с определяющими составляющими продуктивного процесса (фотосинтез, водопотребление и т. п.) и соответствующими факторами воздействия внешней среды (температурный, водно-воздушный режим). Эта связь имеет s -образный характер в интервале предельных и оптимальных значений определяющих факторов влияния и в соответствии с [30] может быть аппроксимирован в рамках растущей части данной нормированной кривой с одним максимумом в виде составленной тригонометрической функции

$$y = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg(A - Bx), & \underline{x} \leq x \leq x^0; \\ 0,485 + 0,385 \arctg(C - Dx), & x^0 \leq x \leq \bar{x}, \end{cases} \quad (21.25)$$

В каких

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{3,65(0,9x^0 + \underline{x})}{x^0 - \underline{x}}, & B &= \frac{7,3}{x^0 - \underline{x}}; \\ C &= \frac{3,90(\bar{x} + 0,9x^0)}{\bar{x} - x^0}, & D &= \frac{7,3}{\bar{x} - x^0}. \end{aligned} \right\} \quad (21.26)$$

В выражениях (21.25), (21.26) использованы следующие обозначения: y – нормированная функция, принимающая значение в интервале $[0,1]$; x – аргумент функции; A, B, C, D – коэффициенты кривых; $\underline{x}, x^0, \bar{x}$ – соответственно начало, экстремальная точка (где $y = 1$) и конец области определения аргумента. Поэтому по аналогии и в развитие с [30, 8] нами получена аналогичная кривая, описывающая связь коэффициента k_{d_i} влияния работы дренажа на формирование урожая с величиной модуля дренажного стока q ,

$$k_d = \begin{cases} 0,49 - 0,385 \arctg(3,28 - B_q), 0 \leq q_r \leq q_r^o \\ 0,49 + 0,385 \arctg(3,28 - D_q), q_r^o \leq q_r \leq 0 \end{cases}; \quad (21.27)$$

тогда

$$B_q = 7,3/q_r^o; D_q = 7,3/q_r^o, \quad (21.28)$$

где q_r – значение модуля дренажного стока для каждой культуры севооборота с учетом различных уровней эффективности работы дренажа совокупности $\{r\}, r = \overline{1, n_r}$ ($r = 1$ – экологический, $r = 2$ – технологический, $r = 3$ – экономический, $r = 4$ – критический) [22].

Исходя из общей постановки оптимизационной задачи по конструкции и параметров сельскохозяйственного дренажа главным требованием к функции связи между параметрами эффекта (урожая) и модулем дренажного стока (или коэффициентом k_d) является необходимость обеспечения возможности определения переменного значения оптимума относительно соответствующего уровня эффективности его работы. Поэтому в общем случае нами предлагается функцию (21.27) реализовать как семейство соответствующих нормированных кривых в виде составленных тригонометрических функций с переменным характером определения точки «оптимальной» (заданной) производительности выращиваемой культуры проектного севооборота, когда $k_d = 1$ по соответствующим значениям параметров модуля дренажного стока по разным уровням эффективности работы дренажа $q_r, r = \overline{1, n_r}$ (рис. 21.4).

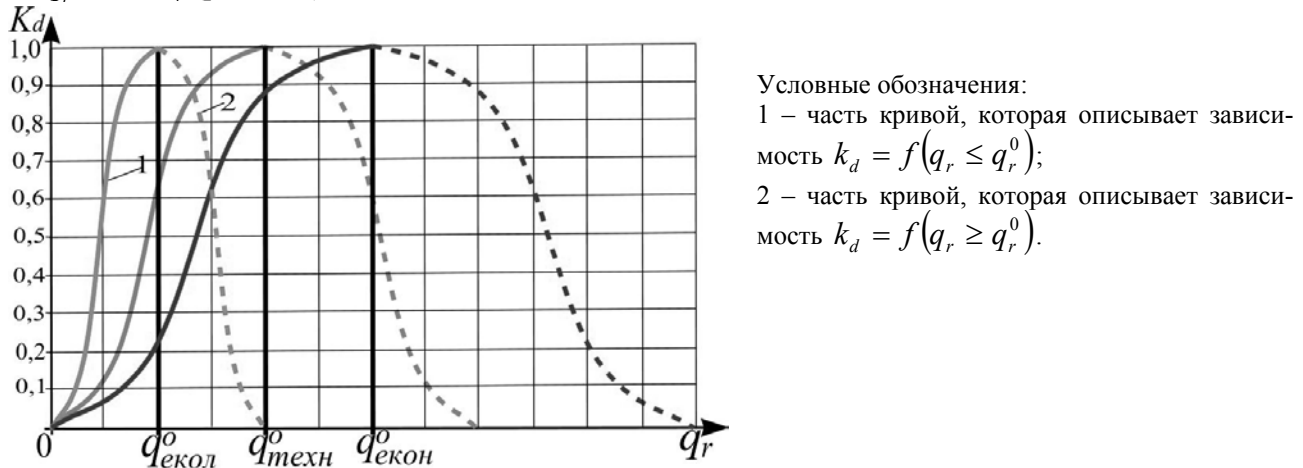


Рис. 21.4. Семейство кривых, описывающих зависимость коэффициента влияния работы дренажа k_d на формирование урожая культур от величины модуля дренажного стока q_r .

В таблице 21.2 представлены значения коэффициента влияния работы дренажа на формирование урожая выращиваемых культур проектной севооборота k_d для различных диапазонов варьирования величины модуля дренажного стока q_r .

Тогда показатель K_3 в модели (21.21) предлагается рассматривать как $K_3 \equiv k_d$.

На основе полученных кривых нами установлена связь между параметрами эффекта (урожая) и модулем дренажного стока, что позволит в каждом конкретном случае определить переменное значение оптимума относительно эффективности работы дренажа по соответствующим уровням производительности выращиваемых культур. В дальнейшем модель урожайности стала опираться на реализацию комплекса прогнозно-имитационных моделей с прогнозной оценкой на долгосрочной основе климатических условий местности и водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель [34].

Итак, реализация предложенного подхода позволит получить дифференцированные значения урожайности совокупности $\{Y_{rpi}\}, Y_{rpi} = \overline{1, n_{Y_{rpi}}}, r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}, i = \overline{1, n_i}$, которые соответствуют сформированным вариантам ПР относительно параметров дренажа. Кроме того, реализация комплекса прогнозно-имитационных моделей создает необходимые предпосылки к реализации экологической составляющей комплексной модели оптимизации параметров дренажа и проверки эффективности его работы на стадии проекта объекта.

Значение коэффициента влияния работы дренажа k_d при формировании урожая от модуля дренажного стока при различных уровнях ее эффективности q_r

№ п/п	q_r	Коэффициенты влияния работы дренажа на формирование урожая (k_d).									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,05	0,617	0,110	0,053	0,033	0,023	0,017	0,013	0,010	0,008	0,006
2	0,1	1,00	0,617	0,211	0,110	0,072	0,053	0,041	0,033	0,027	0,023
3	0,15		0,924	0,617	0,290	0,163	0,110	0,082	0,064	0,053	0,044
4	0,2		1,00	0,871	0,617	0,347	0,211	0,146	0,110	0,087	0,072
5	0,25			0,957	0,833	0,617	0,390	0,253	0,180	0,137	0,110
6	0,3			1,00	0,924	0,803	0,617	0,422	0,290	0,211	0,163
7	0,35				0,969	0,896	0,780	0,617	0,447	0,321	0,240
8	0,4				1,00	0,945	0,871	0,762	0,617	0,466	0,347
9	0,45					0,975	0,924	0,851	0,748	0,617	0,482
10	0,5					1,00	0,957	0,905	0,833	0,736	0,617
11	0,55						0,979	0,940	0,887	0,817	0,725
12	0,6						1,00	0,964	0,924	0,871	0,803
13	0,65							0,982	0,950	0,909	0,857
14	0,7							1,00	0,969	0,936	0,896
15	0,75								0,984	0,957	0,924
16	0,8								1,00	0,973	0,945
17	0,85									0,985	0,962
18	0,9									1,00	0,975
19	0,95										0,986
20	1,0										1,00

21.3.3. Принципы построения и реализации оптимизационного блока моделей. Главной задачей *оптимизационного блока моделей* является определение оптимального ПР с принятой совокупности $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ альтернативных вариантов по параметрам дренажа в заданных условиях реального объекта, а также проведения оценки эффективности его работы за ним.

Поскольку предложенная нами комплексная модель оптимизации параметров дренажа включает в себя разнородные показатели экономической и экологической эффективности, ее практическая реализация сводится к определению экономически оптимального и экологически приемлемого (целесообразного) ПР. Тогда, согласно с [30, 22] экономическая составляющая модели (1) определяется в общем случае принятой четырехуровневой ($v = \overline{1, n_v}$), ($n_v = 4$) иерархической структурой выполнения оптимизационных расчетов

$$ZP_{0_v} = \min_{\{i\}} \sum_{m_g=1}^{n_{mg}} \sum_{g_m=1}^{n_{gm}} \sum_{k=1}^{n_k} \left(\sum_{p=1}^{n_p} ZP_{ipkg_m m_g} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_{g_m} \cdot f_{m_g}, i = \overline{1, n_i}, \quad (21.29)$$

где ZP_{0_v} – оптимальное значение критерия для каждого уровня иерархии $v = \overline{1, n_v}$ реализации модели соответственно на уровне культур проектного севооборота ($v = 1$), почвогрунтов ($v = 2$), почвенно-мелиоративных разностей ($v = 3$) и системы в целом $v = 4$; $ZP_{ipkg_m m_g}$ – значение критерия по соответствующим вариантам ПР относительно множественных переменных природно-агротелиоративных условий исследуемого объекта; f_k, f_{g_m}, f_{m_g} – значение долей распространения соответственно культур проектного севооборота $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$, почвенно-грунтовых условий $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$, почвенно-мелиоративных различий в пределах объекта $\{m_g\}$, $m_g = \overline{1, n_{mg}}$.

Окончательный вид общих расчетных моделей оптимизации конструкции и параметров дренажа определяется по принятой n -уровневой ($v = \overline{1, n_v}$) структуре выполнения оптимизационных рас-

четов в зависимости от уровня сформулированной задачи – нахождение оптимума в соответствии с иерархической структурой построения системы (рис. 21.5). В нашем случае ($n_v = 4$): $v = 1$ – на уровне культуры проектной севооборота; $v = 2$ – на уровне почвы; $v = 3$ – на уровне почвенно-мелиоративной разницы; $v = 4$ – на уровне системы в целом.

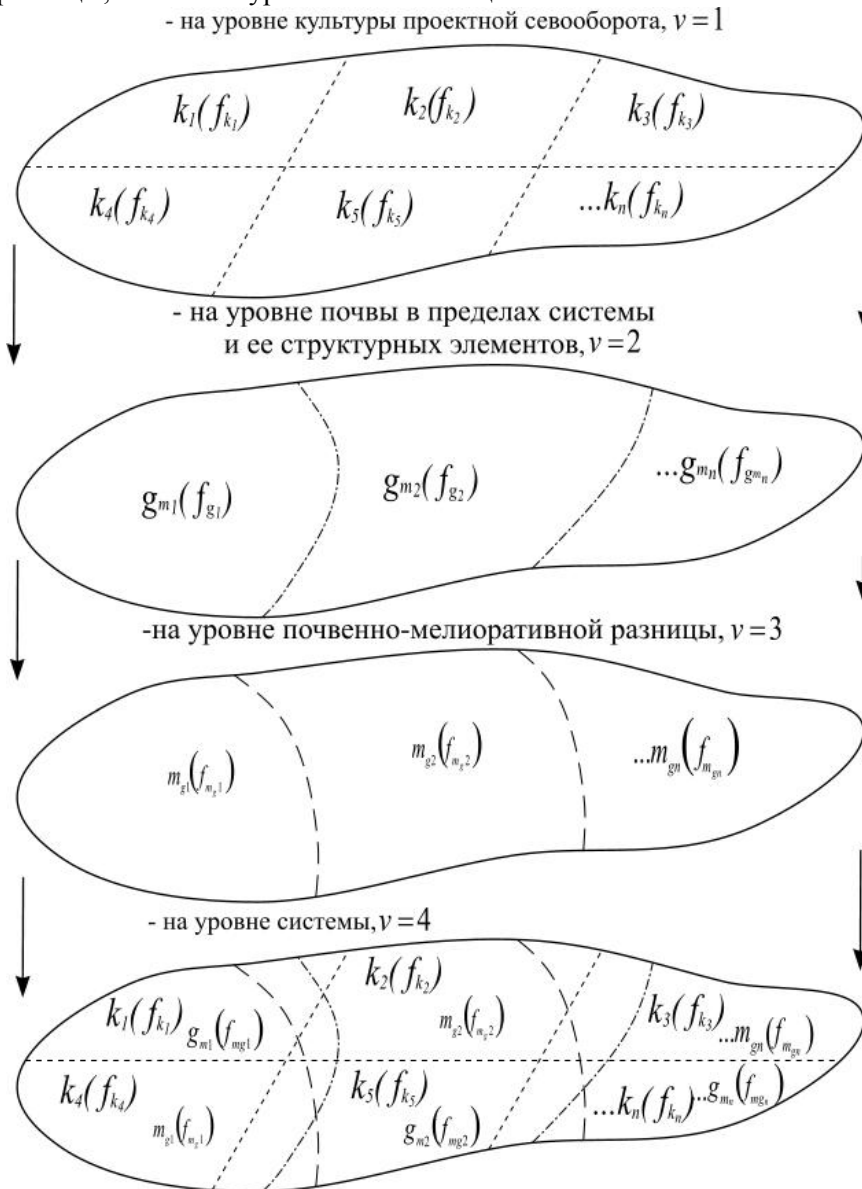


Рис. 21.5. Схема реализации оптимизационных расчетов по обоснованию оптимальных параметров сельскохозяйственного дренажа

Тогда, с учетом изложенного и принципов построения общих моделей оптимизации [22], исходные модели оптимизации по обоснованию конструктивных решений и параметров дренажа могут иметь вид:

– на уровне культур проектной севооборота, $v = 1$

$$ZP^0_{kg_m g_m} = \min_{\{i\}} ZP_{ikpg_m}, i = \overline{1, n_i}, k = \overline{1, n_k}, g_m = \overline{1, n_{g_m}} \quad (21.30)$$

где

$$ZP_{ikpg_m} = \sum_{p=1}^{n_p} \frac{1}{V_{ikpg_m}} (C_{ipkg_m} + E_n \cdot K_i + R_{ikpg_m}) \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}, k = \overline{1, n_k}, g_m = \overline{1, n_{g_m}} \quad (21.31)$$

– на уровне почвы в пределах системы и ее структурных элементов, $v = 2$

$$ZP^0_{g_m} = \min_{\{i\}} \sum_{k=1}^{n_k} (ZP_{kg_m}) \cdot f_k, i = \overline{1, n_i}, g_m = \overline{1, n_{g_m}} \quad (21.32)$$

– на уровне почвенно-мелиоративных разниц, $v = 3$

$$ZP_{m_g}^0 = \min_{\{i\}} \sum_{g_m=1}^{n_{g_m}} (ZP_{g_m m_g}) \cdot f_{g_m}, i = \overline{1, n_i}, m_g = \overline{1, n_{m_g}}; \quad (21.33)$$

– на уровне системы, $v = 4$

$$ZP^0 = \min_{\{i\}} \sum_{m_g=1}^{n_{m_g}} ZP_{m_g} \cdot f_{m_g}, i = \overline{1, n_i}. \quad (21.34)$$

По результатам реализации модели (21.30) можно получить оптимальные значения критерия ZP_0 для каждого уровня иерархии ZP_{0_v} , $v = \overline{1, n_v}$ в исследуемых условиях.

Тогда на уровне системы в целом оптимальное ПР относительно конструкции и параметров дренажа будет выглядеть

$$i_0 = \{ZP_0, b_0, d_0, \varphi_0, q_0, B_0\}. \quad (21.35)$$

Экологическая приемлемость определенного экономически оптимального ПР по конструкции и параметрам дренажа на уровне системы достигается при условии, когда

$$q_s \rightarrow \mathcal{E}_{\text{экол}}, \quad (21.36)$$

где q_s – средневзвешенное значение модуля дренажного стока в пределах системы и проектного срока функционирования объекта

$$q_s = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left[\sum_{p=1}^{n_p} \left(\sum_{\tau=1}^{n_\tau} q_{k g p \tau} / n_{p \tau} \right) \cdot \alpha_p \right] \cdot f_k \cdot f_g, \quad (21.37)$$

где $q_{k g p \tau}$ – среднедекадное значение модуля дренажного стока за расчетные интервалы времени (декада) совокупности $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$, для каждой культуры $k = \overline{1, n_k}$, почвогрунта $g = \overline{1, n_g}$, расчетных по условиям влаго- и теплообеспеченности периодов вегетации $p = \overline{1, n_p}$, которые формируются под влиянием множественных изменчивых природных, агротехнических и мелиоративных условий реального объекта;

$\mathcal{E}_{\text{экол}}$ – средневзвешенное граничное значение модуля дренажного стока, соответствует экологическому уровню эффективности работы дренажа в рамках системы

$$\mathcal{E}_{\text{экол}} = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left(\sum_{p=1}^{n_p} \mathcal{E}_{\text{экол } k g p} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_g, \quad (21.38)$$

где $\mathcal{E}_{\text{экол } k g p}$ – значение модуля дренажного стока, когда r отвечает экологическому уровню эффективности работы дренажа для таких сменных условий исследуемого объекта относительно $p = \overline{1, n_p}$, $k = \overline{1, n_k}$, $g = \overline{1, n_g}$ (определяется по формулам (21.17), (21.18) относительно соответствующего уровня эффективности работы дренажа).

Таким образом, по результатам реализации оптимизационного блока моделей определяется экономически оптимальное и экологически приемлемое ПР относительно конструкции и параметров дренажа.

21.3.4. Оценка эффективности работы дренажа на осушаемых землях по долгосрочному прогнозу. На стадии проекта нового строительства или реконструкции ОС определены экономически оптимальные ПР i_0 по конструкции и параметрам дренажа $i_0 = \{b_0, d_0, \varphi_0, q_{r_0}, B_0\}$ (b_0 – вид, d_0 – диаметр, φ_0 – фильтр, q_{r_0} – модуль дренажного стока, B_0 – расстояние между дренажами), находятся в интервале от экологического к экономическому уровню эффективности его работы по соответствующим значениям модулей дренажного стока и не рассматриваются все возможные периоды работы дренажа, в том числе критические, когда при выпадении атмосферных осадков формируется модуль дренажного стока, который превышает расчетное его значение. Тогда превышение предельно допустимых значений продолжительности переувлажнения приводит к значительным потерям урожайности [22, 6]. В связи с этим возникает необходимость оценить эффективность работы дренажа по различным уровням ее эффективности по соответствующим уровням досягаемой урожайности выращиваемых культур совокупности $\{r\}$, $r = \overline{1, n_r}$ ($r = 1$ – экологический, $r = 2$ – технологический, $r = 3$ – экономический, $r = 4$ – критический).

Критические условия работы дренажа ($r = 4$) возникают, когда принятое в расчетах декадное количество осадков выпадает мгновенно – за сутки. Тогда может происходить резкое поднятие уровня грунтовых вод (УГВ) и формироваться модуль дренажного стока, который превышает его расчетное значение. В таком случае запроектированный дренаж может не справиться с отводом лишней влаги в почве, происходит допустимое или критическое переувлажнение почвы, что приводит к потерям урожая. Потери урожайности от кратковременного поднятия УГВ до глубины 0,5 м от поверхности земли за 2–3 суток составляют 10...20 %, при глубине 0,6 м – 8...14 % и 0,7 м – 5...10 %.

Так, влияние затопления на урожайность озимой пшеницы в течение 3 суток снижает урожай на 20...40 %, от 3 до 6 суток – на 30...90 %, 7 суток и более – на 80...100 %. Гибель культур озимой пшеницы наступает через 8–10 суток, ячменя – через 5–8 суток, овса – через 10–11 суток. При затоплении корневой системы картофеля в течение 2 суток урожайность снижается на 20...50 %, от 3 суток и более – на 90...100 %. Затопление многолетних трав в течение 4 суток снижает их урожайность на 20...30 %, соответственно 5–7 суток – на 40...70 %, 8 суток и больше – до 100 %.

Оценка эффективности работы дренажа может быть выполнена на основе так называемых показателей продолжительности, характеризующих различные аспекты его работы в пределах расчетного по условиям тепло- и влагообеспеченности периода вегетации.

Показатели продолжительности определяются по соответствующим среднедекадным значениям модулей дренажного стока $q_{kgp\tau}$ для каждой культуры $k = \overline{1, n_k}$, почвы $g = \overline{1, n_g}$, расчетных лет $p = \overline{1, n_p}$ и интервалов времени (сутки, декада) $\tau = \overline{1, n_\tau}$, которые формируются под влиянием множественных переменных природно-агротелиоративных условий реального объекта.

Модули дренажного стока совокупности $\{q_{kgp\tau}\}$, $k = \overline{1, n_k}$, $g = \overline{1, n_g}$, $p = \overline{1, n_p}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ и соответствующие им длительности работы дренажа $t^q_{pr\tau}$ по всему спектру множественных переменных природно-агротелиоративных условий реального объекта определяются по долгосрочному прогнозу водного режима и технологиям водорегулирования осушаемых земель [22, 34].

Показатель общей продолжительности работы дренажа в расчетные периоды вегетации определяется как

$$\theta_p^q = \frac{t^q_{pr\tau}}{t_{pr\tau}}, p = \overline{1, n_p}, \tau = \overline{1, n_\tau}. \quad (21.39)$$

Аналогично показатель продолжительности работы дренажа на соответствующем уровне его эффективности в расчетные периоды вегетации

$$\theta_{rkgp\tau}^q = \frac{t^q_{rkgp\tau}}{t_{kgp\tau}}, r = \overline{1, n_r}, k = \overline{1, n_k}, g = \overline{1, n_g}, p = \overline{1, n_p}, \tau = \overline{1, n_\tau}, \quad (21.40)$$

где $t^q_{rkgp\tau}$ – продолжительность работы дренажа по различным уровням ее эффективности r для переменных условий исследуемого объекта по $k = \overline{1, n_k}$, $g = \overline{1, n_g}$, $p = \overline{1, n_p}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$, сут.

Тогда с учетом (21.39) и (21.40) показатель продолжительности работы дренажа для каждого уровня его эффективности и каждого уровня иерархии $v = \overline{1, n_v}$ по культуре, почвам и системе в целом в пределах проектного срока функционирования объекта в общем виде определяется как

$$\theta_{sv}^q = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left(\sum_{p=1}^{n_p} \theta_{kgp\tau}^q \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_g, v = \overline{1, n_v}. \quad (21.41)$$

Оценка эффективности работы дренажа в критических условиях ($r = 4$) выполняется по методике, аналогичной предварительно изложенной. При этом вместо значений среднедекадных модулей дренажного стока, определенных по условиям формирования соответствующих суммарных за декаду значений осадков, следует рассматривать среднесуточные аналогичные их значения при выпадении декадной суммы осадков за сутки. Здесь показатели продолжительности допустимого и критического периодов работы дренажа, когда запроектирован дренаж, который может не справиться с работой и происходит допустимо или критическое переувлажнение почвы для выращиваемых культур, определяются аналогично рассмотренным показателям продолжительности работы дренажа [50].

Таким образом, рассмотренный подход позволяет с достаточной для практики степенью точности производить оценку работы дренажа по различным уровням его эффективности по всем спектром множественных переменных природно-агротелиоративных условий реального объекта. Он может

быть эффективно использован в общем комплексе прогнозно-оптимизационных расчетов по обоснованию параметров сельскохозяйственного дренажа.

21.3.5. Оценка эффективности работы дренажа при выпадении суточных максимумов осадков. В реальных условиях работы дренажа на различных этапах периода вегетации выращиваемых культур достаточно часто возникает еще более критическая ситуация, которая приводит к граничным условиям его работы, когда выпадает количество осадков, которое значительно превышает их расчетные значения, использованные в водобалансовых режимно-технологических расчетах, так называемые суточные максимумы (табл. 21.4).

Таблица 21.4

Характеристика суточным максимумов атмосферных осадков различной обеспеченности в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения Украины, мм

Область	Обеспеченности суточных максимумов осадков, $p(\%)$					
	$p = 5\%$	$p = 10\%$	$p = 30\%$	$p = 50\%$	$p = 70\%$	$p = 90\%$
Черниговская	67	58	41	34	27	19
Ровенская	87	73	49	42	31	21
Сумская	65	58	47	41	33	21
Киевская	72	62	49	41	31	22
Хмельницкая	75	62	49	40	31	24
Полтавская	72	60	49	41	32	20
Харьковская	77	62	53	43	32	23
Черкасская	78	66	55	43	32	24
Ивано-Франковская	98	86	61	52	39	25
Львовская	82	68	55	42	31	24
Закарпатская	62	57	48	37	29	19

Время, за которое может быть снижен УГВ до безопасного уровня в отношении затопления и подтопления выращиваемых культур или продолжительность периода, в течение которого наблюдается модуль дренажного стока, значительно превышает его расчетное значение и характеризует граничные условия работы дренажа, определяется за выражением

$$t = \frac{P'_\tau}{86,4 \cdot q_0} \quad (21.42)$$

Часть суточного максимума осадков попадает в почву и формирует поднятие УГВ и увеличение модуля дренажного стока, может быть определена в соответствии с расчетной схемы (рис. 21.6), по выражению

$$P'_\tau = P_\tau - S_\tau - Q_\tau \quad (21.43)$$

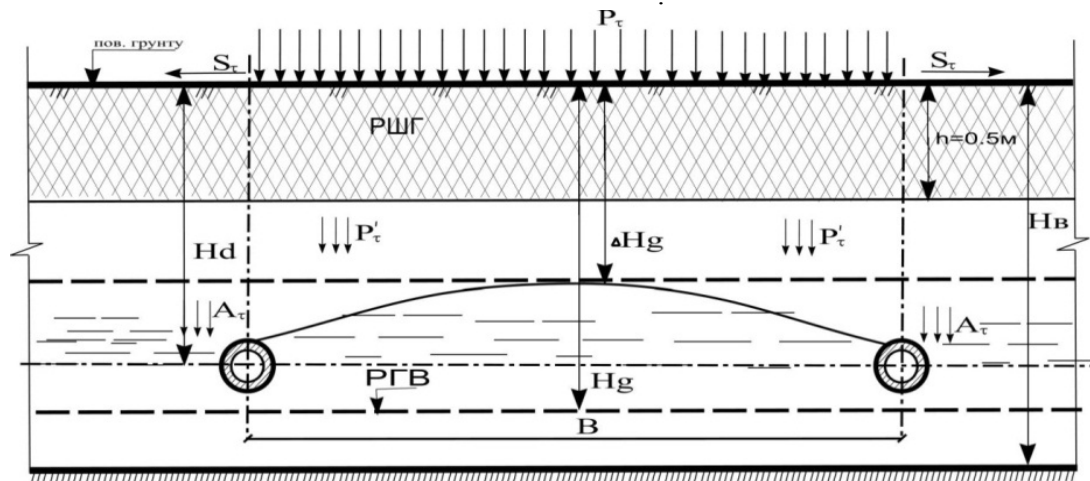


Рис. 21.6. Расчетная схема работы дренажа на осушаемых землях при резком поднятии УГВ в предельных условиях работы дренажа

Поверхностный сток определяется по формуле

$$S_\tau = P_\tau \cdot k_s \quad (21.44)$$

Тут коэффициент поверхностного стока k_s определяется по эмпирическим формулам [14], рассматривая зависимость его образования на мелиорированных территориях от двух определяющих факторов: водопроницаемости грунта, которая характеризуется коэффициентом фильтрации (k_{ϕ}) и уклоном поверхности почвы (i).

$$k_s = \left(1 - 0,07 \cdot \frac{k_{\phi}}{k_{\phi_0}} \right) \cdot i^{0,17 \left(1 + \frac{k_{\phi}}{k_{\phi_0}} \right)}, (R^2 = 0,96). \quad (21.45)$$

Реализация данного подхода позволяет оценить эффективность работы дренажа с заданными или определенными его параметрами во множественных переменных природно-агромелиоративных условиях реального объекта на проектном уровне.

Таким образом, усовершенствование метода оптимизации в целом позволяет определить экономически целесообразные и экологически приемлемые ПР по конструкции и параметров дренажа, оценить технологическую и экологическую эффективность его работы в пределах проектного срока.

21.4. Сравнительная оценка различных подходов к обоснованию параметров сельскохозяйственного дренажа и эффективности его работы

На основе изложенных выше принципов (см. пункты 21.2–21.3) было выполнено сравнительную характеристику применения традиционных и оптимизационных подходов к обоснованию параметров сельскохозяйственного дренажа по соблюдению современных экономических и экологических требований при его расчетах приведены в таблице 21.5.

Таблица 21.5

Сравнительная характеристика традиционных и оптимизационных подходов к обоснованию параметров дренажа

Название	Методы расчета параметров дренажа			
	Эмпирический	ДБН В.2.4-1-99	Экономико-математический	Комплексный оптимизационный
1. Учёт множественных переменных природно-агромелиоративных условий	-	-	частично	+
2. Определения и обоснования показателя модуля дренажного стока:				
- по экономическим требованиям	-	-	+	+
- по экологическим требованиям	-	-	-	+
3. Обоснование параметров дренажа:				
- по экономическим требованиям	-	-	+	+
- по экологическим требованиям	-	-	-	+
4. Учёт конструктивных особенностей дренажа относительно: вида, по материалу изготовления, различным диаметром труб, конструкции фильтров дренажа, расчетными схемами работы дренажа	-	-	+	+
5. Обоснование проектных величин урожая и определения потерь урожая (погодно- климатического риска)	-	-	+/-	+
6. Сравнение вариантов ПР по объему и качеству полученной продукции	-	-	-	+
7. Дифференцированное определение оптимальных параметров дренажа относительно различных уровней производительности выращиваемых культур	-	-	-	+
8. Определение параметров дренажа относительно уровней иерархии системы (культура, почва, почвенно-мелиоративная разница и система в целом)	-	-	-	+
9. Проведение оценки эффективности работы дренажа по определенным параметрам в заданных условиях	-	-	-	+
10. Инвестиционная оценка проекта реконструкции участка дренажа	-	-	-	+

21.4.1. Пример расчета параметров дренажа для условий исследуемого объекта. Проверка и эффективность комплекса прогнозно-оптимизационных моделей по обоснованию оптимальных конструкций и параметров сельскохозяйственного дренажа по множественным переменным природно-агротелиоративных условий реального объекта выполнена путем рассмотрения данных натурального эксперимента в полевых условиях и результатов, полученных на основе реализации машинного эксперимента на ЭВМ.

Пример расчета по применению традиционных и оптимизационных подходов к обоснованию параметров сельскохозяйственного дренажа по современным экономическим и экологическим требованиям реализовано для условий реального объекта площадью 25 га, который расположен в Дубровицком районе Ровенской области на ОС «Милячи-Кзаки».

Почвы на участке представлены дерновыми слабоподзолистыми песчаными на песках с коэффициентом фильтрации ($k_f = 1,0 \text{ м/добу}$) и долевой долей ($f_{g_m} = 0,1$), дерново-оподзоленными глеево-связно-супесчаными ($k_f = 0,7 \text{ м/добу}$, $f_{g_m} = 0,3$), торфяными среднемоющими малозольными ($k_f = 0,4 \text{ м/добу}$, $f_{g_m} = 0,6$). На участке реконструкции вкладывается пластмассовый дренаж с круглой перфорацией и песчано-гравийной засыпкой диаметром 63 мм. Севооборот на массиве представлена тремя культурами: это озимая пшеница ($f_k = 0,3$), картофель ($f_k = 0,2$) и многолетние травы на сено ($f_k = 0,5$).

По результатам расчетов были получены следующие расстояния между дренами для условий указанного объекта, которые систематизированы в таблице 21.6.

Таблица 21.6

Сравнительная оценка эффективности традиционных и экономико-математического методов определения параметров дренажа

Название	Эмпирический метод	ДБН В.2.4-1-99	Экономико-математический метод
Дерновые-слабоподзолистые песчаные на песках			
Расстояние между дренами, м	20,0	28,0	24,0
Дерновые - оподзоленные глеевые связно-супесчаные			
Расстояние между дренами, м	18,0	24,0	22,0
Торфяные средне мощные малозольные			
Расстояние между дренами, м	14,0	18,0	16,0

Обобщенные результаты оптимизационных расчетов относительно иерархических их уровней *культура – почва – почвенно-мелиоративной разницы – система* для исследуемого объекта по комплексному оптимизационному методу представлены в таблице 21.7.

Полученные результаты расчета по определенным уровням урожайности выращиваемых культур по соответствующим уровням эффективности работы дренажа показывают, что в заданных условиях оптимальные расстояния между дренами на низком уровне иерархии их выполнения культура – почва меняются от 12 м для картофеля на торфах до 39 м для трав на песках при соответствующем изменении расчетного модуля дренажного стока по всему спектру уровней эффективности работы дренажа от экологического $q_{\text{экол}} = 0,4 \text{ л/(с} \cdot \text{га)}$ до экономического $q_{\text{экон}} = 0,8 \text{ л/(с} \cdot \text{га)}$.

Оптимальное ПР в заданных условиях, в зависимости от доли различных по плодородию почв и производительности выращиваемых культур, для системы в целом составляет: расстояние между дренами $B_0 = 12 \text{ м}$ при соответствующих значениях расчетного модуля дренажного стока $q_0 = 0,65 \text{ л/(с} \cdot \text{га)}$ с соответствующим экономическим критерием оптимизации $ZP_0 = 0,583$, (пункт 21.2).

Соблюдение условия экологической приемлемости оптимального ПР определяется сравнением среднезначимого в пределах проектного срока функционирования системы значения модуля дренажного стока q_s и соответствующего предельного его значения, соответствующего экологическому уровню эффективности работы дренажа $q_{\text{экол}}$. Значение этих модулей, которые определены для условий исследуемого объекта по реализации комплекса прогнозно-имитационных моделей составляют соответственно $q_s = 0,428 \text{ л/(с} \cdot \text{га)}$ и $q_{\text{экол}} = 0,451 \text{ л/(с} \cdot \text{га)}$.

Обобщающие результаты оптимизационных расчетов параметров дренажа

Вид почвы (g_s)	Культура (k)	На уровне культуры			На уровне почвы			На уровне почвенно-мелиоративной разницы			На уровне системы		
		(q_s)	(B)	(ZP_s)	(q_s)	(B)	(ZP_{q_s})	(q_s)	(B)	(ZP_{q_s})	(q_s)	(B)	(ZP_s)
Дерновые слабоподзолистые песчаные на песках ($f_r = 0,1$)	Озимая пшеница -45 ц/га ($f_i = 0,3$)	0,55	30,00	0,931									
	Картофель - 280 ц/га ($f_i = 0,2$)	0,80	19,00	0,632	0,8	19,00	0,632	0,8	19,00	0,632			
	Многолетние травы - 52ц/га ($f_i = 0,5$)	0,4	39,00	0,948									
Дерново-оподзоленные глеевые связно-супесчаные ($f_r = 0,3$)	Озимая пшеница -45 ц/га ($f_i = 0,3$)	0,6	21,00	0,922									
	Картофель - 280 ц/га ($f_i = 0,2$)	0,7	14,00	0,615	0,7	14,00	0,615	0,7	14,00	0,615			
	Многолетние травы - 52ц/га ($f_i = 0,5$)	0,5	24,00	0,892									
Торфяные среднечерные малозольные ($f_r = 0,6$)	Озимая пшеница -45 ц/га ($f_i = 0,3$)	0,5	18,00	0,871									
	Картофель - 280 ц/га ($f_i = 0,2$)	0,65	12,00	0,583	0,65	12,00	0,583	0,65	12,00	0,583	0,65	12,00	0,583
	Многолетние травы - 52ц/га ($f_i = 0,5$)	0,4	22,00	0,872									

Примечание: оптимальные параметры дренажа со всех возможных вариантов выделены серым цветом.

Поскольку в данном случае $q_s < \mathcal{E}_{\text{экол}}$, то определенное экономическое оптимальное ПР относительно параметров дренажа также экологически приемлемо в заданных условиях.

Выполнена также оценка эффективности работы дренажа для условий исследуемого объекта по соответствующим показателям продолжительности, результаты которой представлены в виде соответствующих диаграмм (рис. 21.7).

Полученные результаты такой оценки показывают, что по среднедекадным условиям формирования осадков и соответствующих значений q_{kgpr} при выращивании многолетних трав, озимых зерновых и картофеля продолжительность периода вегетации составляет 214 суток (100 %), из них общий срок работы дренажа составляет 60 %, в том числе по различным уровням ее эффективности: экологическом (39 %), технологическом (15,5 %), экономической (5,5 %), а при выпадении декадных осадков за сутки и соответствующих значениях q'_{kgpr} продолжительность периода вегетации составляет 214 суток (100 %), из них общий срок работы дренажа составляет (60 %), в том числе по различным уровням ее эффективности: экологическом (24 %), технологическом (6,5 %), экономической (9,5 %), допустимом критическом (15,5 %) и в критическом режиме не превышает 5 %, что является вполне допустимым.

Выполнена аналогичная оценка эффективности работы дренажа для исследуемого объекта в предельных условиях при выпадении суточных максимумов осадков различной обеспеченности (табл. 21.8). Результаты ее показывают, что дренаж с оптимальными параметрами для исследуемого объекта при работе в предельных условиях обеспечивает поддержание допустимых условий по влагообеспеченности выращиваемых сельскохозяйственных культур в большинстве случаев, когда обеспеченность суточных максимумов осадков не превышает 30 %.

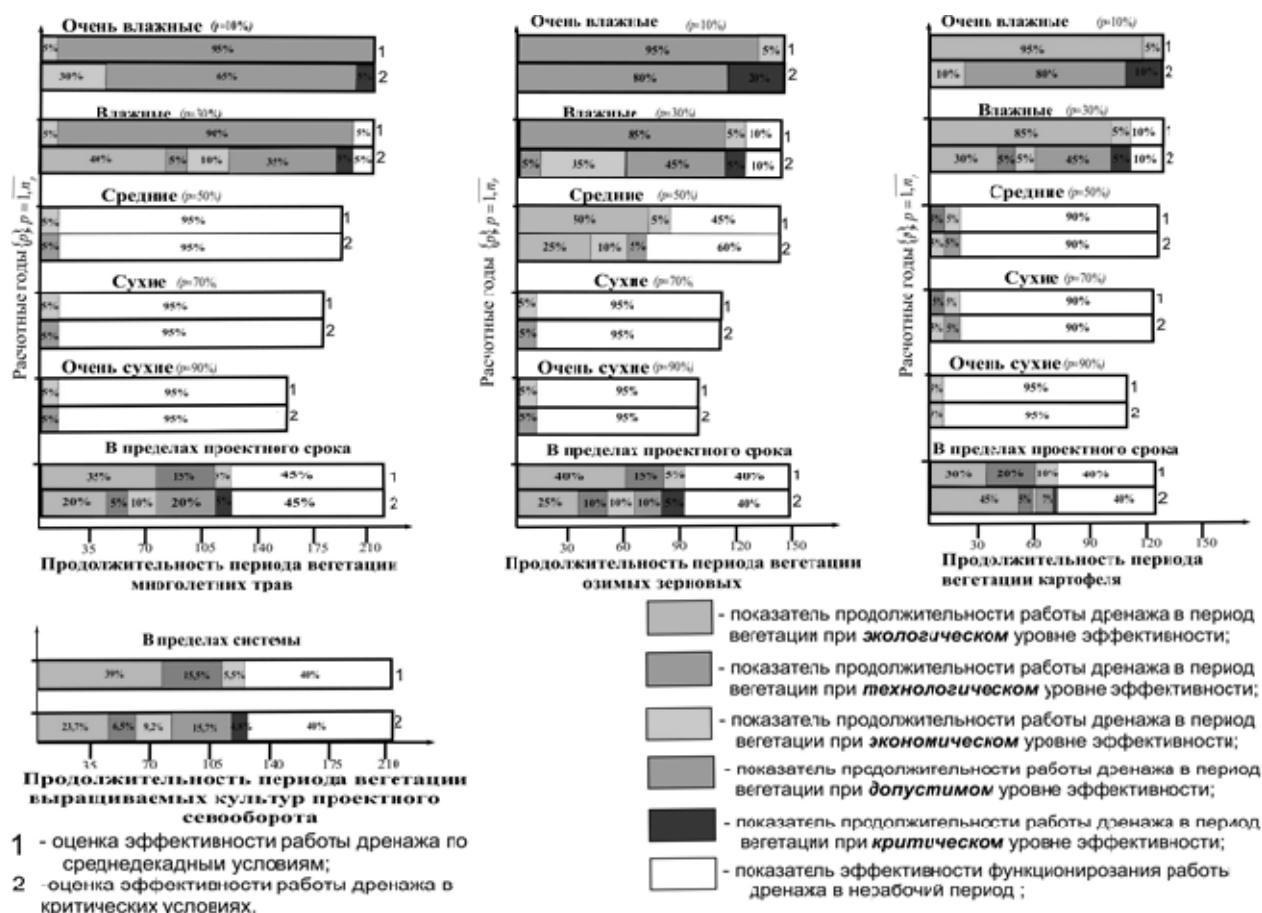


Рис. 21.7. Оценка эффективности работы дренажа по определенным оптимальными параметрами для условий исследуемого объекта

Таблица 21.8

Эффективность работы дренажа исследуемого объекта в предельных условиях при выпадении суточных максимумов осадков различной обеспеченности

Область	Значения показателей	Расчетная обеспеченность p , %						Усредненные значения критических периодов переувлажнения выращиваемых культур, суток
		5 %	10 %	30 %	50 %	70 %	90 %	
Ровенская	P_{τ} , мм	89	73	49	42	31	21	6-4
	P'_{τ} , мм	47	33	12	6	0	0	
	q_0 л/(с·га)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
	t (сут)	8,4	5,8	2,2	1,1	0	0	

Оценка экономической эффективности является неотъемлемой составляющей при обосновании целесообразности мелиоративных мероприятий. Имеющиеся сегодня отечественные методы и подходы к определению экономической эффективности мелиоративных проектов разработаны, главным образом, еще в 60-х годах прошлого века, не отвечают современным особенностям экономической реформы в Украине, при которой происходит изменение форм хозяйствования и собственности на землю и водохозяйственно-мелиоративные объекты, появление новых потенциальных источников финансирования мелиоративных мероприятий. Поэтому есть необходимость в пересмотре традиционных подходов и механизма разработки, экономического обоснования и реализации любых инвестиционных проектов, в том числе мелиоративных, а также дальнейшего развития и дополнения имеющихся методов, их усовершенствования и адаптации к особенностям современной национальной экономики. В связи с этим экономическую эффективность проекта реконструкции участка дренажа ОС «Милячи-Казаци» целесообразно осуществлять по совместно разработанной на кафедрах гидромелиораций и менеджмента НУВХП методике экономического обоснования мелиоративных проектов с учетом современных требований к проектному и инвестиционному анализу и особенностей сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях [35]. Инвестиционная оценка

проекта реконструкции для участка показала, что совокупный дисконтированный доход 17,470 тыс. грн / га при дисконтном сроке окупаемости инвестиций 7 лет, что является вполне приемлемым.

Таким образом, применение усовершенствованного оптимизационного подхода позволит дифференцированно определять оптимальные параметры сельскохозяйственного дренажа по различным уровням производительности выращиваемых культур с соблюдением современных экономических и экологических требований в переменных природно-агротелиоративных условиях реального объекта в проектах строительства и реконструкции ОС.

Литература

1. Аверьянов С. Ф. О расчете осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания // Научные записки МИИВХ им. В. Р. Вильяенса. – 1960. – Т. 22. – С. 3–13.
2. Аверьянов С. Ф. Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен) // Гидротехника и мелиорация. – 1957. – № 12. – С. 49–61.
3. Айдаров И. П., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации). – М.: Агротемиздат, 1990. – 60 с.
4. Брусиловский Ш. И., Стронгин В. Ш. Рекомендации по расчетам фильтрации воды к систематической сети каналов и дрен в двухслойных грунтах. – Минск: Изд-во БелНИИиВХ, 1977. – 74 с.
5. Волк П. П., Рокочинський А. М. Обґрунтування необхідності удосконалення методів оптимізації конструкції та параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць. – Рівне, 2009. – Вип. 34. – С. 83–88.
6. Волк П. П., Рокочинський А. М. Обґрунтування модуля дренажного стоку в оптимізаційних розрахунках сільськогосподарського дренажу на еколого-економічних засадах // Вісник НУВГП. – 2011. – Вип. 2(54). – С. 3–10.
7. Волк П. П., Шалай С. В., Рокочинский А. Н. Влияние работы дренажа на формирование продуктивности осушаемых земель в весенний период // Сб. науч. тр. / под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2012. – С. 33–37.
8. Волк П. П., Шалай С. В., Рокочинський А. М. Вплив роботи дренажу на формування продуктивності осушуваних земель у весняний період // Вісник НУВГП. – 2012. – Вип. 4(60). – С. 3–9.
9. Голованов А. И., Новиков А. С. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях // Сельскохозяйственная мелиорация. – Т. 36. – М.: МГМИ, 1974. – С. 87–95.
10. ДБН В 2.4-1-99 Меліоративні системи та споруди. – Київ, 1999. – 174 с.
11. Ивицкий А. И. Основы проектирования и расчетов осушительных систем полесья : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1957. – 30 с.
12. Ионат В. А. Расчет горизонтального дренажу в неоднородных грунтах. – Таллин: Изд-во ЭНИИЗиМ, 1962. – 347 с.
13. Кожушко Л. Ф. Удосконалення дренажних систем : монографія. – Рівне: Видавництво РДТУ, 2001. – 279 с.
14. Коптюк Р. М., Рокочинський А. М. Визначення величини поверхневого стоку в інженерних розрахунках меліоративних систем з урахуванням рельєфу місцевості // Актуальні проблеми та перспективи розвитку водного господарства і меліорації земель : зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон: РВВ «Колос», 2009. – С. 84–86.
15. Костяков А. Н. Основы мелиорации. – М. : Сельхозгиз, 1960. – 622 с.
16. Кубышкин В. П. Исследование параметров закрытого дренажу при осушении суглинистых почв различных генетических типов с учетом их водопроницаемости, характера водного питания и условий рельефа // Осушение тяжелых почв. – М.: Колос, 1981. – С. 85–98.
17. Лазарчук М. О., Черенков А. В., Рокочинський А. М. Оптимізація розрахунку осушувальних систем та управління ними. – Рівне: НУВГП, 2010. – 316 с.
18. Лазарчук М. О., Рокочинський А. М., Муранов В. Г. Оптимізація параметрів основних елементів осушувальних систем за економіко-математичним методом // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – 2000. – Вип. 4 (6). – С. 66–72.
19. Минаев И. В. Принципы проектирования осушительных и осушительно-увлажнительных систем с оптимальными параметрами // Водное хозяйство Белоруссии. – Минск: Высшая школа, 1977. – Вып. 1. – С. 3–18.
20. Муранов В. Г. Оптимизация параметров дренажу для почв атмосферно–грунтового питания в зоне Западного Полесья УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / УкрНИИГиМ. – Киев, 1989. – 18 с.
21. Мурашко А. И. Горизонтальный пластмассовый дренаж. – Минск: Урожай, 1973. – 208 с.

22. Науково-методичні рекомендації до обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами /А. М. Рокочинський, А. В. Черенков, В. Г. Муранов [та ін.]. – Рівне, 2013. – 34 с.
23. Никольский Ю. Н. Оптимизация водного режима осушаемых земель грунтового типа питания : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02 / МГМИ. – М., 1988.
24. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. – Киев: Наук. думка, 1987. – 280 с.
25. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Рычков В. А. Дренаж с волокнистыми фильтрами. – Киев: Наук. думка, 1980. – 216 с.
26. Писарьков Х. А., Митерлих Н. Осушение сельскохозяйственных земель. – М. ; Л.: Сельхозиздат, 1955. – 251 с.
27. Поляков В. Л. Визначення параметрів режиму роботи дренажу при регулюванні рівня підґрунтових вод // Меліорація і водне господарство. – 1994. – Вип. 81. – С.73–78.
28. Рабочев И. С., Пягай Э. Т. Оптимизация параметров дренажу на пойменных почвах // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1984.– № 9. – С.103–105.
29. Рокочинський А. М. Критерії оцінки ефективності водорегулювання осушуваних земель // Вісник аграрної науки. – 1998. – № 3. – С. 67–71.
30. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водо регулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромашенка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
31. Рокочинський А. М., Фроленкова Н. А., Волк П. П., Коптюк Р. М. // Обґрунтування критеріїв для аналізу еколого-економічної ефективності проектних рішень / Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: зб.наук. праць. – Рівне, 2007. – Вип. 32. – С. 54–65.
32. Сапсай Г. И. Методические рекомендации по расчету расстояний между дренами в условиях Полесья УССР. – Ровно: Облтипографиздат, 1982. – 12 с.
33. Технические указания по оптимизации параметров горизонтального дренажа на основании экономико-математического расчёта при проектировании осушительных систем в Украинской ССР: НТД 33-63-090-89.
34. Тимчасові рекомендації з прогнозу оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М.Рокочинський, В. А.Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2011. – 54 с.
35. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічна оцінка в управлінні меліоративними проектами. – Рівне: НУВГП, 2007. – 260 с.
36. Хомик К. Т. Основы расчета осушительных систем.– Таллин: Бюро НТИ Минсельхоза Эстонской ССР, 1966. – 280 с.
37. Черенков А. В. Обоснование технологии подпочвенного увлажнения с учетом влияния конструкций и параметров закрытого дренажу и проводящей сети каналов в дерновых и дерново-подзолистых почвах Западного Полесья УССР : автореф. дис. ... канд. техн. Наук : 06.01.02 / УкрНИИГиМ. – Киев, 1983. – 15 с.
38. Шалай С. В. Рокочинський А. М. Оцінка продуктивності осушуваних земель за довготерміновим прогнозом : монографія. – Рівне: НУВГП, 2011. – 149 с.
39. Шапран В. Я. Неустановившаяся фильтрация к горизонтальному систематическому дренажу в условиях напорного и инфильтрационного питания // Мелиорация и водное хозяйство. – 1968. – № 11. – С. 155–164.
40. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подвода водопонижения и дренажа. – М.: МГУ, 1965. – 233 с.
41. Шкиннис Ц. Н. Гидрологическое действие дренажа. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 312 с.
42. Шумаков Б. Б. Мелиорация в XXI веке // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996.– № 3.– С.4–6.
43. Эггельсманн Р. Руководство по дренажу. – М.: Колос, 1978. – 256 с.
44. Янголь А. М. Рекомендации по увлажнению осушаемых земель. – Киев: Урожай, 1965. – 88 с.
45. Boussinesq I. E. sur la theorie des ceux countrantes. – Paris, 1877.
46. Darsy H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. – Paris, 1856. – 647 p.
47. Duputt J. Etude's theoriques es pratigues sur Le movement des caux. – Paris, 1863. – 304 p.
48. Glover R. E. Use of mathematical models in drainage design. – Trans. ASEE, 1966. – P. 210–212.
49. Kirkham D. Potential flow info circum ferential openings in drain tube // Applied Physics. – 1979. – 21,7. – P. 655–660.

Глава 22. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ

22.1. Современное состояние и пути совершенствования водорегулирования на осушительно-увлажнительных системах с развитым рельефом местности

В настоящее время в результате реформирования аграрного сектора и водохозяйственной мелиоративной отрасли страны в рыночных условиях произошло ухудшение технического состояния осушительно-увлажнительных систем (ОУС) и стало неэффективным управление водорегулированием на них, что уже не отвечает современным требованиям аграрного производства. Это определяет необходимость повышения общей эффективности их использования, прежде всего за счет применения наиболее прогрессивных технологий водорегулирования на ОУС, общая площадь которых в Украине более 1,2 млн га.

Выполненный анализ работ отечественных и зарубежных ученых (В. Е. Алексеевский, Г. И. Афанасик, А. И. Ивицкий, В. Ф. Шебеко, А. М. Янголь, Б. С. Маслов, П. И. Коваленко, П. И. Закржевский, А. И. Голованов, А. П. Лихацевич, А. Я. Олейник, В. Л. Поляков, Н. Н. Хлапук, Н. А. Лазарчук, Н. Н. Ткачук, Л. Ф. Кожушко, А. В. Скрипник, А. В. Яцык и др.), посвященных исследованию различных аспектов (от режимных до технологических и технических) формирования водного режима и водорегулирования на осушаемых землях, показал, что соблюдение благоприятного водно-воздушного режима почв обеспечивается использованием различных технологий водорегулирования: осушения, предупредительного шлюзования, непрерывного и циклического увлажняющего шлюзования [6, 12, 19, 20, 31, 45, 44, 52, 55, 58, 60]. Но существующие подходы не могут быть эффективно реализованы на всей площади осушительно-увлажнительных систем как территориально сложных объектах управления с неравномерным рельефом местности. При выраженных рельефных условиях мелиоративного поля имеет место значительная пространственно-временная изменчивость уровня грунтовых вод (УГВ) и влажности, амплитуда колебаний которых негативно влияет на урожай [1].

При этом согласно литературным источникам [17] уже при уклоне поверхности земли 0,002 не достигается необходимый уровень влагообеспеченности сельскохозяйственных культур при применении предупредительного и увлажняющего шлюзования на значительной части ОУС. Очевидно, что неравномерность рельефа осушаемых массивов влияет на формирование неравномерности водного режима в течение всего вегетационного периода.

В то же время за результатами исследований Н. Н. Ткачука, М. В. Яцыка, Б. И. Чалого, А. И. Тыщенко, Н. В. Мозоля, П. И. Гаця и других рекомендуется при разработке проектов реконструкции и модернизации существующих ОУС применять на внутрихозяйственной сети конструкции модульные системы, что, в принципе, позволяет учитывать основные современные природно-хозяйственные условия на осушаемых землях (разделение на паи мелиоративных угодий, рельеф, почвы, формирование стока, структуру посевов, размеры полей и т. п.) и, таким образом, эффективно использовать водные и земельные ресурсы при минимальных нежелательных воздействиях на окружающую природную среду.

Но при этом соответствующая организация территории ОУС путем ее разделения на уровне мелиоративного поля на уменьшенные участки (*модули*) относительно автономного управления водорегулированием приводит к значительному увеличению количества территориально распределенных и удаленных объектов управления, необходимости регулирования и контроля различных параметров. Все это значительно усложняет процессы оперативного управления водорегулированием осушаемых земель, которое на практике осуществляется преимущественно в ручном режиме, и определяет необходимым условием его реализации комплексную автоматизацию технологии водорегулирования и средств управления.

22.2. Принципы организации территории осушительно-увлажнительных систем на уровне мелиоративных полей по их рельефной дифференциации

Как показывает производственный опыт, от 10 до 40 % площадей существующих ОУС характеризуются разной степенью развитости рельефа, что определяет недостаточный уровень эффективности управления водорегулированием на них и не отвечает современным принципам аграрного производства, состоящим в реализации точного земледелия – создании наилучших условий для развития сельскохозяйственных культур. Следует отметить, что в Украине работы, связанные с точным земледелием, ведутся в течение последних 10–12 лет в основном на орошаемых землях (М. И. Ромащенко,

Е. С. Драчинска, А. М. Шевченко, А. Е. Айзенберг, В. И. Кравчук, А. А. Пашко и др.) [47]. Поэтому дальнейшее повышение точности и общей эффективности водорегулирования осушаемых земель возможно за счет *рельефной дифференциации* территории и управления ОУС. *Дифференциация* (от лат. слова *differenti* – различие) – это разделение и расслоение целого на различные формы.

При выраженных рельефных условиях имеет место значительная пространственно-временная изменчивость УГВ и влажности с отклонением до 40...60 % от установленных значений и уменьшения урожая выращиваемых культур на 20...30 % (Г. И. Афанасик, Б. И. Козловский и др.) [1, 15, 44].

Соответственно снятие этой проблемы возможно путем проведения соответствующей рельефной организации территории мелиорированных полей ОУС по *блочно-модульному принципу* с выделением на них контуров с выровненными рельефными условиями и условиями водорегулирования.

В отличие от метода, разработанного белорусскими учеными (А. П. Лихацевич, А. П. Русецкий и др.) [40], по которому площадь модуля определялась путем усреднения отметок земли, нами предложен принцип организации территории ОУС на уровне мелиорированных полей и определения площади каждого модуля в пределах выделенного контура при условии, что средневзвешенные значения уклона (\bar{i}) и перепада поверхности земли ($\overline{\Delta H_{gi}}$) должны соответствовать рекомендуемым значениям ($\bar{i}, \overline{\Delta H_{gi}}$), принятым на основе ранжирования осушаемых земель с развитым рельефом по показателю его мелиоративной эффективности (табл. 22.1)

Таблица 22.1

Мелиоративная эффективность рельефа осушаемых земель [17]

Степень развитости рельефа	Количественные показатели рельефа		Показатель мелиоративной эффективности	Мелиоративная эффективность рельефа
	\bar{i}_{kj}	$\overline{\Delta H_{kj}}$, м		
Слабо развитый	< 0,001	< 0,2	1,0...1,2	Высокая
Средне развитый	0,001...0,004	0,2...0,6	0,8...1,0	Средняя
Сильно развитый	> 0,004	> 0,6	0,4...0,8	Низкая

Задача сводится к поиску площади модуля, при которой выполняются неравенства (22.1) и (22.2) и реализуются с помощью программы AutoCAD Civil 3D

$$\bar{i} = \frac{i_1 \cdot f_1 + i_2 \cdot f_2 + \dots + i_n \cdot f_n}{\sum f_n} \leq \bar{i}; \quad (22.1)$$

$$\overline{\Delta H_{gi}} = \frac{\Delta H_{gi1} \cdot f_1 + \Delta H_{gi2} \cdot f_2 + \dots + \Delta H_{gin} \cdot f_n}{\sum f_n} \leq \overline{\Delta H_{gi}}, \quad (22.2)$$

где $i_n, \Delta H_{gin}$ – значение уклонов и перепадов поверхности земли в пределах выделенного контура; f_n – соответствующая площадь в пределах выделенного контура.

Данный вопрос решался на примере системы двустороннего регулирования Сарненской научно-исследовательской станции Института водных проблем и мелиорации НААН Украины на протяжении 2002–2009 гг. В качестве объекта исследований рассмотрены опытные участки общей площадью 26 га. Условия объекта являются репрезентативными относительно вида и состава торфяных почв, выращиваемых культур, рельефных условий, что позволило получить результаты, пригодные к использованию на осушаемых землях Полесья, где доля торфяных почв составляет более 30 %.

Выполненная организация территории предусматривала идентификацию площадей в пределах выделенных контуров на уровне поля за рельефными условиями (уклоном поверхности земли i и перепадами поверхности земли ΔH_{gi}) и условиями водорегулирования по вариантам:

– *вар. 1* – (эталон) характеризуется имеющимися выровненными рельефными условиями и условиями водорегулирования (уклон поверхности земли $i = 0...0,001$, перепады поверхности земли $\Delta H_{gi} = 0,1...0,3$ м);

– *вар. 2* – характеризуется имеющимися невыровненными рельефными условиями и условиями водорегулирования (уклон поверхности земли $i > 0,004$, перепады поверхности земли $\Delta H_{gi} > 0,6$ м);

– *вар. 3* – характеризуется созданными выровненными рельефными условиями и условиями водорегулирования (уклон поверхности земли $i = 0,001...0,003$, перепады поверхности земли $\Delta H_{gi} = 0,2...0,4$ м).

Пример реализации указанного подхода в исследуемых условиях приведен на рисунке 22.1.

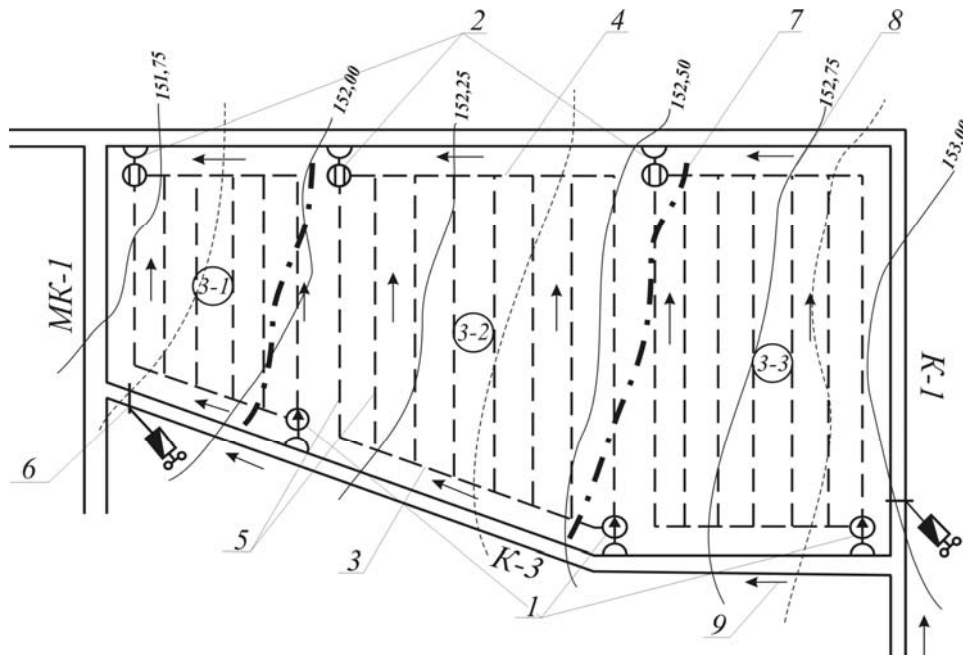


Рис. 22.1. Принципиальная схема размещения модулей (3-1, 3-2, 3-3) в пределах выделенных контуров с выровненными рельефными условиями и автоматизированных регуляторов уровня грунтовых вод на опытном участке (*вар. 3*):

1 – колодцы с регуляторами водоподачи; 2 – колодцы с регуляторами дренажного стока; 3 – увлажняющий коллектор; 4 – дренажный коллектор; 5 – дрены; 6 – регулятор-переезд на канале; 7 – граница выделенного контура модуля по рельефным условиям; 8 – горизонталы; 9 – направление движения воды; МК-1 – магистральный канал; К-1, К-3 – открытые осушительно-увлажняющие каналы

Полевые исследования на опытных участках системы по вариантам рельефных условий заключались в изучении и анализе условий формирования водного режима и производительности выращиваемых многолетних трав по соответствующим способам водорегулирования общепринятыми методами ($s = 1$ – осушение; $s = 2$ – предупредительное шлюзование; $s = 3$ – непрерывное увлажняющее шлюзование) в условиях обеспеченности осадками, изменявшейся от $p = 16,6\%$ до $p = 83,4\%$.

Для снятия ограничений полевого эксперимента относительно исследуемых рельефных условий и условий влагообеспеченности в разные годы при различных технологиях водорегулирования выполнен также машинный эксперимент, в рамках которого реализованы аналогичные варианты рельефных условий объектов и способов водорегулирования по всем возможным спектрам годов расчетной влагообеспеченности ($p = 10\%$, 30% , 50% , 70% , 90%) при выращивании многолетних трав на торфяных почвах по определенным в полевом эксперименте параметрам УГВ и влагозапасов почвы. Машинный эксперимент основывается на использовании комплекса прогноз-имитационных моделей, разработанных в научно-исследовательской лаборатории кафедры природообустройства и гидромелиораций Национального университета водного хозяйства и природопользования (НУВХП), реализация которых регламентирована соответствующими отраслевыми нормативами Госводагентства Украины [27, 30, 50].

По результатам полевых исследований и машинного эксперимента на опытных участках нами обоснованы параметры водорегулирования по исследуемым показателям (УГВ, влажность почвы, показатель урожая), различным технологиям и вариантам рельефных условий (табл. 22.2). Определено, что в нерегулируемых условиях (*вар. 2*) размах варьирования параметров водорегулирования по исследуемым показателям составляет: УГВ – $0,58...1,23$ м, влажности – $44...81\%$ НВ, относительного урожая – $0,60...0,71$, а в регулируемых условиях (*вар. 3*) происходит его существенное сужение: УГВ – $0,68...0,85$ м, влажность $59...77\%$ НВ и повышение показателя относительного урожая до $0,67...0,81$, что приближается к эталону (*вар. 1*).

Обобщенная характеристика исследуемых показателей водорегулирования по разным технологиям и вариантам рельефных условий

Способы водорегулирования	УГВ (Hg , м)	Влажность почвы (wh , %НВ)	Относительный урожай (β_k^y)
	$\frac{Hg_{\min} \dots Hg_{\max}}{Hg}$, м	$\frac{wh_{\min} \dots wh_{\max}}{wh}$, %НВ	$\frac{\beta_{k \min}^y \dots \beta_{k \max}^y}{\beta_k^y}$
<i>вар. 1 – эталон</i>			
Осушение	$\frac{0,70 \dots 0,93}{0,81}$	$\frac{57 \dots 73}{65}$	$\frac{0,62 \dots 0,73}{0,69}$
Предупредительное шлюзование	$\frac{0,68 \dots 0,87}{0,77}$	$\frac{60 \dots 78}{69}$	$\frac{0,70 \dots 0,85}{0,78}$
Увлажняющее шлюзование	$\frac{0,66 \dots 0,82}{0,74}$	$\frac{63 \dots 79}{71}$	$\frac{0,74 \dots 0,92}{0,83}$
<i>вар. 2 – нерегулируемые условия</i>			
Осушение	$\frac{0,65 \dots 1,32}{0,99}$	$\frac{37 \dots 79}{58}$	$\frac{0,52 \dots 0,65}{0,59}$
Предупредительное шлюзование	$\frac{0,62 \dots 1,24}{0,95}$	$\frac{45 \dots 81}{62}$	$\frac{0,62 \dots 0,71}{0,67}$
Увлажняющее шлюзование	$\frac{0,58 \dots 1,12}{0,85}$	$\frac{51 \dots 83}{67}$	$\frac{0,65 \dots 0,76}{0,70}$
<i>вар. 3 – регулируемые условия</i>			
Осушение	$\frac{0,69 \dots 0,96}{0,83}$	$\frac{55 \dots 75}{65}$	$\frac{0,60 \dots 0,71}{0,66}$
Предупредительное шлюзование	$\frac{0,67 \dots 0,88}{0,78}$	$\frac{59 \dots 78}{68}$	$\frac{0,70 \dots 0,82}{0,76}$
Увлажняющее шлюзование	$\frac{0,67 \dots 0,83}{0,76}$	$\frac{60 \dots 78}{70}$	$\frac{0,72 \dots 0,89}{0,81}$

Примечание: β_k^y – относительный показатель урожая выращиваемых культур (отношение фактического к потенциально возможному или максимально достигнутому урожаю); \overline{Hg} , \overline{wh} , $\overline{\beta_k^y}$ – средние значения УГВ, влажности и показателя урожая для лет различной влагообеспеченности.

На эффективность водорегулирования существенное влияние оказывает диапазон колебания УГВ и влажности на каждом модуле, поскольку ОУС является инерционной относительно изменения этих параметров. Чем меньший диапазон колебания установленных уровней и влажности при различных режимах, тем эффективнее будет действовать та или иная технология водорегулирования, а это будет влиять как на показатели водорегулирования, так и урожайность выращиваемых культур.

В свою очередь, проведенный нами дисперсионный анализ для схематизированных рельефных, природно-климатических и мелиоративных условий с использованием критерия Фишера F_{05} на 5%-ном уровне значимости показал существенность различий между вариантами участков с неравномерным рельефом местности и с выровненными рельефными условиями и условиями водорегулирования (правомочность такого подхода подтверждается результатами выполненного анализа сопоставления фактических F_ϕ и теоретических F_{05} значений критериев Фишера, во всех случаях $F_\phi > F_{05}$).

По полученным результатам выполнена оценка усредненных отклонений исследуемых показателей водорегулирования в регулируемых и нерегулируемых условиях с рельефом по стандарту (табл. 22.3).

Таким образом, рельефная дифференциация территории и организация управления водорегулирования на основе ОУС блочно-модульного типа позволяет уменьшить размах варьирования параметров водорегулирования в среднем на 20...25 % и повысить урожайность многолетних трав на 10...15 %.

Обобщенная сравнительная характеристика относительно усредненных отклонений исследуемых показателей водорегулирования в регулируемых и нерегулируемых условиях с рельефом по эталону, %

Способы водорегулирования	Вар.1 – эталон	Вар.2 – нерегулируемые условия	Вар.3 – регулируемые условия
Осушение	-	$\frac{16,0...39,16}{26,61}$	$\frac{1,30...6,41}{4,40}$
Предупредительное шлюзование	-	$\frac{14,0...40,16}{27,31}$	$\frac{2,77...9,74}{5,34}$
Увлажняющее шлюзование	-	$\frac{13,0...40,57}{27,81}$	$\frac{3,3...11,61}{6,96}$

Примечание: В числителе – размах варьирования усредненных отклонений исследуемых показателей (УГВ, влажности, урожая) в регулируемых и нерегулируемых условиях с рельефом по эталону; в знаменателе – соответствующее среднее значение отклонения.

22.3. Влияние климатического, мелиоративного и рельефного факторов на формирование водного режима осушаемых земель

Существование природных комплексов в рамках единой системы возможно и осуществляется при условии их постоянного обмена веществом и энергией [4]. Это в полной мере справедливо и относительно сложных природно-технических систем, к которым относятся мелиоративные системы, и их определяющей составляющей – водного режима почв.

В таких системах интенсивность и взаимодействие потоков вещества и энергии под влиянием природных и техногенных факторов определяют состояние и развитие процессов не менее сложной подсистемы низшего уровня подчинения – мелиорированного поля в виде системы почва – растение – приземной слой воздуха, управление которой является главной задачей гидромелиораций [44].

В связи с этим, по нашему мнению, заслуживает внимания и является очень актуальным, с точки зрения эффективности реализации гидромелиораций вообще, вопрос определения как совместного действия, так и долевого участия влияния природного (климатического), техногенного (мелиоративного) и рельефного факторов на водный режим осушаемых земель в условиях рельефной дифференциации их территории [23].

По уточненным параметрам водорегулирования нами выполнена оценка долевого участия влияния климатического, мелиоративного и рельефного факторов на условия формирования водного режима осушаемых земель по технологиям водорегулирования в различных рельефных условиях.

Усовершенствован метод оценки долевого участия влияния определяющих факторов на водный режим осушаемых земель, который, в отличие от ранее предложенного [44], позволяет вместе с климатическими и технологическими факторами определить долю влияния рельефа местности по усредненным значениям каждого из исследуемых показателей водорегулирования (УГВ – Hg , влажности почвы – wh и урожая многолетних трав – Y_k) совокупности $\{z\}, z = \overline{1, n_z}$ ($n_z = 3$) по изменению климата $\{p\}, p = \overline{1, n_p}$, технологий водорегулирования $\{s\}, s = \overline{1, n_s}$ и условий рельефа $\{j\}, j = \overline{1, n_j}$.

Результат совместного действия климатического, мелиоративного и рельефного факторов на условия формирования водного режима выглядит как

$$\alpha_{psj}^{\omega} + \alpha_{psj}^m + \alpha_{psj}^r = 1, \quad p = \overline{1, n_p}; \quad s = \overline{1, n_s}; \quad j = \overline{1, n_j}, \quad (22.3)$$

где α_{psj}^{ω} , α_{psj}^m , α_{psj}^r – соответствующие значения долевого участия влияния климатического (индекс ω), мелиоративного (индекс m) и рельефного (индекс r) факторов на формирование водного режима осушаемых земель.

Наличие эталона среди вариантов опыта позволило выделить рельефный фактор, а при работе системы в режиме осушения ($s = 1$) как базы сравнения было определено долевое участие влияния климатического и мелиоративного факторов на условия формирования водного режима осушаемых земель по технологиям водорегулирования в p -тые по расчетной влагообеспеченности периоды вегетации.

Исходя из принятой базы сравнения в выражении (22.3) долевое участие рельефного фактора может быть определено как

$$\alpha_{psj}^r = Z_{psj} - Z_{ps1}, \quad p = \overline{1, n_p}; \quad s = \overline{1, n_s}; \quad j = \overline{2, n_j}, \quad (22.4)$$

где Z_{psj} , Z_{ps1} – соответствующие значения показателя водного режима при работе по различным технологиям в регулируемых и нерегулируемых условиях с рельефом ($j = \overline{2, n_j}$) относительно эталона ($j = 1$).

Долевое влияние климатического фактора может быть определено через соотношение

$$\alpha_{psj}^\omega = \frac{Z_{p1j}}{Z_{psj}}, \quad p = \overline{1, n_p}; \quad s = \overline{2, n_s}; \quad j = \overline{1, n_j}, \quad (22.5)$$

где Z_{p1j} , Z_{psj} – соответствующие значения показателя водного режима при работе в режиме осушения ($s = 1$) как базы сравнения и по другим ($s = \overline{2, n_s}$) способам водорегулирования в p -тые по расчетной влагообеспеченности периоды вегетации.

Тогда доля влияния мелиоративного фактора может быть определена из выражения (22.3)

$$\alpha_{psj}^m = 1 - (\alpha_{psj}^\omega + \alpha_{psj}^r), \quad p = \overline{1, n_p}; \quad s = \overline{1, n_s}; \quad j = \overline{1, n_j}. \quad (22.6)$$

Результаты расчета в виде столбиковой диаграммы варьирования значений α_{psj}^ω , α_{psj}^m и α_{psj}^r по совокупности исследуемых показателей водорегулирования (Hg , Wh , Yk) относительно технологий $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ и условий рельефа $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ по вариантам опыта представлены на рисунке 22.2.

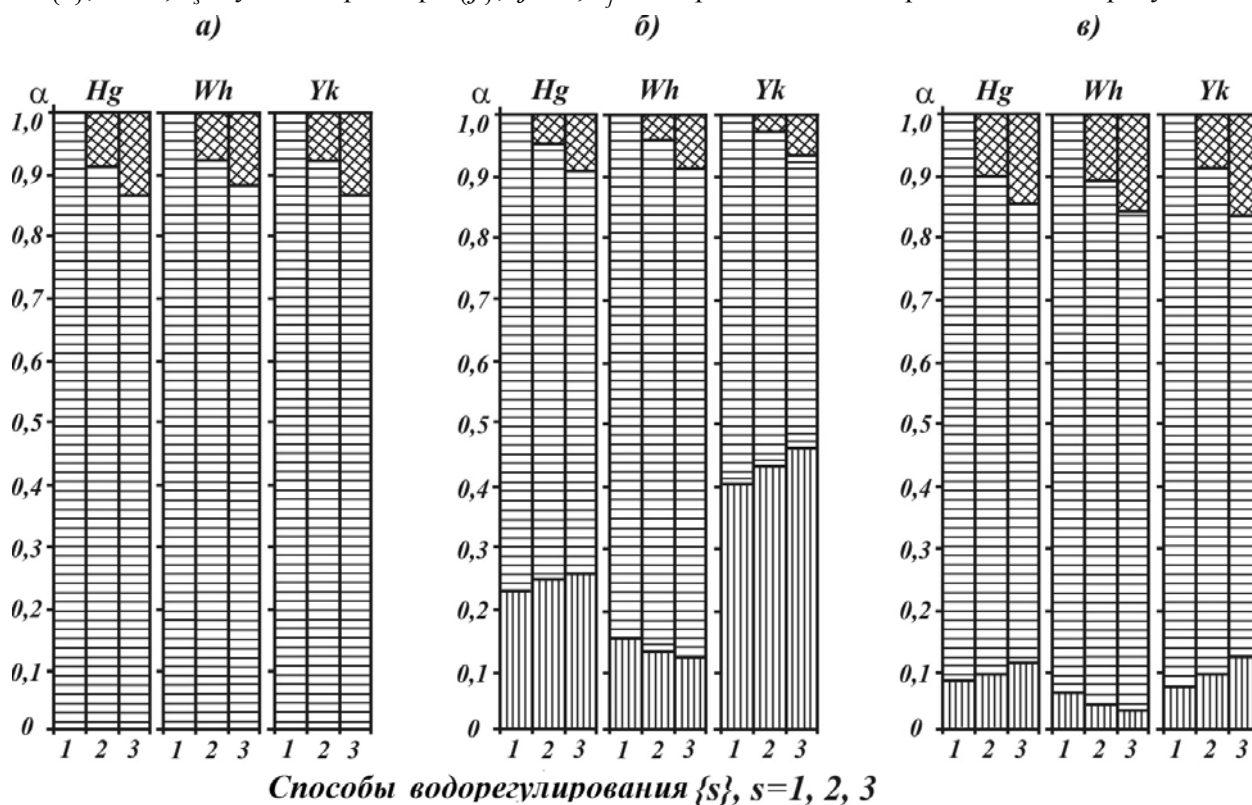


Рис. 22.2. Значение долевого влияния климатического, мелиоративного и рельефного факторов по совокупности исследуемых показателей водного режима по способам водорегулирования по вариантам: а) вар. 1 – эталон; б) вар. 2 – нерегулируемые условия; в) вар. 3 – регулируемые условия

▨ – α_{psj}^ω , доленое участие климатического фактора;

▩ – α_{psj}^m , доленое участие мелиоративного фактора;

▧ – α_{psj}^r , доленое участие рельефного фактора;

$s = 1$ – осушение; $s = 2$ – предупредительное шлюзование;

$s = 3$ – непрерывное увлажняющее шлюзование.

Проведенный сравнительный анализ варьирования долевого влияния климатического, технологического и рельефного факторов на водный режим по усредненным долевым частям каждого из исследуемых показателей водорегулирования по вариантам рельефных условий показывает, что доля влияния рельефа местности в регулируемых условиях, по сравнению с нерегулируемыми, может быть уменьшена в среднем с 0,27 до 0,09, при этом доля влияния климатического фактора увеличивается в среднем с 0,69 до 0,83 и технологического с 0,06 до 0,15.

Определено, что за счет рельефной дифференциации территории и управления водорегулированием на системе доля влияния рельефа местности в регулируемых условиях, по сравнению с нерегулируемыми, может быть уменьшена в среднем в 3 раза.

Таким образом, рассмотренный подход позволяет получить оценку дифференцированного влияния природно-климатического, мелиоративного и рельефного факторов на условия формирования водного режима осушаемых земель с различной степенью развитости рельефа местности.

22.4. Обоснование необходимости автономного управления водорегулированием в условиях рельефной дифференциации территории мелиорированных полей

Эффективное управление мелиоративными объектами как более сложными природно-техническими системами на стадии эксплуатации в условиях текущего года практически невозможно без создания автоматизированных информационных систем управления (АИСУ) или информационно-советующих систем оперативного планирования водорегулирования (ИСС ОПВ) [44]. Комплексные научно-исследовательские работы по разработке таких систем на осушаемых землях в Украине были начаты в середине 80-х годов. Эти системы достаточно успешно функционировали в многоуровневой иерархической структуре ОУС и водораспределения на ней, что давало возможность оценки и прогноза гидромелиоративной обстановки с оперативностью в неделю и возможностью управления на уровне руслового шлюза на магистральном канале или шлюзов регуляторов в проводящих каналах преимущественно в ручном режиме.

Соответствующая организация территории ОУС с развитым рельефом местности путем ее разбивки на уровне мелиорированного поля на модули приводит к значительному увеличению количества объектов управления. В связи с увеличением количества территориально распределенных объектов в условиях рельефной дифференциации территории мелиорированных полей и необходимости регулирования и контроля различных параметров возникает необходимость автономного управления водорегулированием на каждом модуле путем системного сочетания функций получения и обработки информации, принятия решения и его реализации, что возможно лишь при автоматизированном управлении.

Исходя из этого разработаны структура и функции автономного управляемого модуля (рис. 22.3) в составе информационно-измерительной системы [22, 36, 37] и технических средств водорегулирования [35, 38], а также информационное, методическое и алгоритмическое обеспечение их совместной работы [34, 33]. В то же время модуль может функционировать в структуре реализации общей АИСУ ОУС.

Структура модуля как объекта управления представлена в виде последовательно соединенных звеньев с распределенными параметрами: системы транспортирующих каналов, коллекторно-дренажной системы (зона грунтовых вод) и междренного пространства (зоны аэрации почвы) (рис. 22.4).

Внутренним контуром регулирования является контур регулирования уровня воды в управляющем колодце (объект регулирования ОР1), а внешним, задающим – контур регулирования влажности почвы (объект регулирования ОР2). Объект регулирования представляет собой участок земли с коллекторно-дренажной системой, которую можно разделить на два подобъекта ОР1 – отражает коллекторно-дренажную систему и насыщенную зону почвы и превращает уровень воды в колодце (h_k) в напор в дренажной системе (h_o), а напор – в УГВ (Hg) на модуле, входным сигналом для него являются рассогласование напора (Δh_o) в дренажной сети и периодическая корректировка значения уставки регулятора в колодце для компенсации возмущения от суммарного испарения и осадков на основе измеренных данных и данных краткосрочного метеопрогноза с Internet сайта. Согласно величине Δh_o регуляторы или подают воду в дренажную систему, или отводят. ОР2 представляет собой насыщенную зону почвы и превращает УГВ на модуле во влажность (wh) корнеобитаемого слоя почвы.

На основе информации об уровне воды в колодце, УГВ, значения влажности, ее направления и скорости изменения формируем сигнал на изменение уставки автоматического гидрорегулятора с учетом задачи [34]. При этом параметры система получает и рассчитывает в автоматическом режиме,

по показаниям датчиков влажности почвы, уровня воды, температуры и относительной влажности воздуха, количества осадков, а также по данным метеопрогноза [35].

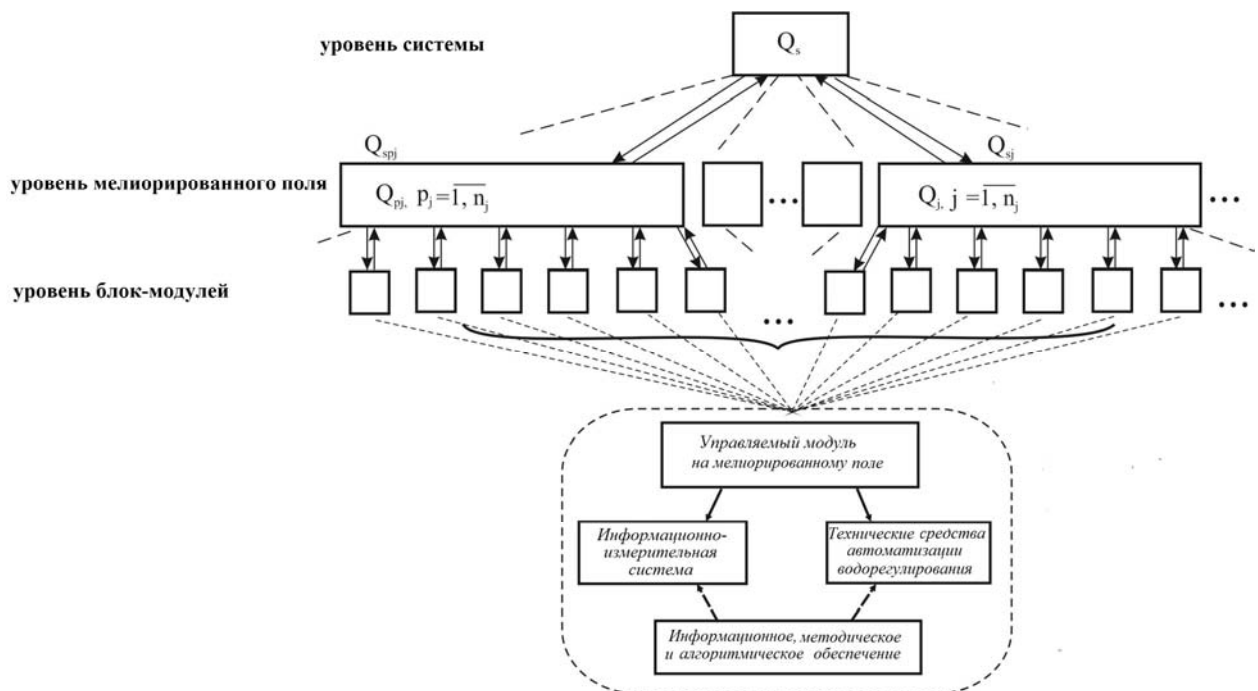


Рис. 22.3. Иерархическая структура водорегулирования на ОУС блочно-модульного типа

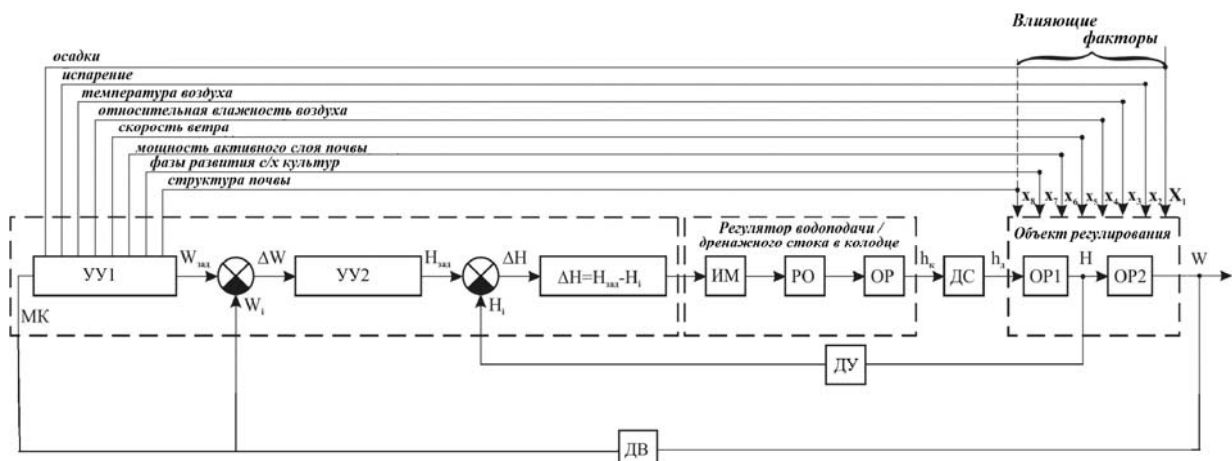


Рис. 22.4. Структурная схема управляемого модуля:

УУ1 – управляющее устройство, оптимизирующее требования к водо-воздушному режиму почвы сельскохозяйственных культур на модуле; УУ2 – управляющее устройство, формирующее прогнозный УГВ; ИМ – исполнительный механизм; РО – регулирующий орган; ОР – объект регулирования; ДС – дренажная система; ОР1 – насыщенная зона почвы (УГВ); ОР2 – ненасыщенная зона (зона аэрации); ДУ – датчик уровня; ДВ – датчик влажности (тензиометры); $x_1 \dots x_n$ – влияющие факторы; h_k – уровень воды в колодце; h_d – напор воды в дренажной системе; Hg – уровень воды на междуренье; wh – влажность почвы.

Момент времени корректировки зависит от инерционности дренажной системы и объекта регулирования. Погрешности расчетов, связанных с неточностью метеопрогноза, корректируются по измеренным значениям технологических параметров.

Поскольку у разных культур неодинаковые требования к водному режиму почвы, к тому же изменяющиеся в процессе развития, поэтому необходима информация о фазах развития растений. Идентификация текущей фазы развития сельскохозяйственной культуры осуществляется по методике [19] с использованием рассчитанной суммы положительных среднесуточных температур воздуха.

В зависимости от межфазного периода в нормативно-справочной информации системы управления используются данные о величине корнеобитаемого слоя почвы [1].

Регулятор уровня воды в колодце может работать по определенному закону управления. Его настройки определяются при моделировании работы АСУ по параметрам качества переходного процесса изменения уровня воды в колодце [3, 25].

22.4.1. Методы управления водорегулированием на автоматизированных осушительно-увлажняющих системах. В свою очередь, важную роль в повышении эффективности управления ОУС играет автоматизация процессов водорегулирования, чему посвящены работы П. И. Коваленка, А. В. Яцька, В. А. Сташука, Н. Н. Хлапука, Н. А. Лазарчука, А. Н. Рокочинського, А. Ф. Рубана, А. И. Тищенко, Б. И. Чалого, Ю. Г. Ковальчука, Ю. А. Балана, В. И. Кумачова, В. Н. Зубца, А. П. Русецкого, В. П. Сельчонка, Е. Н. Шкутова, С. Ю. Бочарова, Б. А. Баховца, В. И. Пастушенка, А. Н. Наумчука и др. [2, 3, 9, 11, 18, 32, 34, 35, 48, 54, 59].

Например, вопрос автоматизации каналов для ОУС подробно рассмотрен в работах П. И. Коваленка [11]. Исследуя систему двустороннего действия как объекта управления при управлении из закрытого дренажа, С. Ю. Бочаров [3] предложил и реализовал двухпозиционную систему автоматического регулирования водного режима по УГВ и осадкам. На основе экспериментальных данных, аппроксимируя объект динамическими звеньями, известными в теории автоматического управления [39], В. И. Кумачов [18] исследовал систему подпочвенного увлажнения при шлюзовании открытой регулирующей сети и реализовал релейный закон регулирования. В работе Е. Н. Шкутова [59] предложена методика имитационного моделирования системы управления УГВ математической моделью в виде совокупности динамических звеньев, представленных обычными дифференциальными уравнениями. Она позволяет для конкретного объекта экспериментальным путем найти коэффициенты уравнений и рассчитать режимы управления, обеспечивающих необходимые уровни грунтовых вод.

Более общими можно считать методы, в которых применяют физические закономерности движения воды в почве. Так, используя математическую модель динамики уровня грунтовых вод А. Я. Олейника и В. Л. Полякова [31] в сочетании с известными подходами [48], В. И. Пастушенко и А. М. Наумчук [32] определили условия изменения уровня воды над увлажняющими коллекторами и на междренье, тем самым позволили усовершенствовать метод расчета уровня режима в коллекторно-дренажной сети при подпочвенном увлажнении для циклического режима и определить напоры над дренами, продолжительность их выдержки с учетом ограничений на неравномерность увлажнения по междренью.

Таким образом, разработка алгоритмов управления водорегулированием на ОУС осуществляется на основе математической модели объекта. Математическую модель, которая необходима для разработки закона и расчета режимов, можно получить двумя способами: на базе теоретического анализа, используя физические закономерности, присущие объекту регулирования, или на основе экспериментальных данных, аппроксимируя объект динамическими звеньями, известными в теории автоматического управления [25, 39].

При управлении по УГВ вследствие нелинейности объекта и гистерезисных явлений связь между влажностью корневого слоя и уровнем грунтовых вод далеко не однозначна, что обуславливает низкое качество регулирования. В динамических режимах именно зона аэрации через низкие коэффициенты влагопереноса является наиболее инерционным звеном, определяющим режим увлажнения. Поэтому синтез режимов управления водорегулированием на ОУС необходимо осуществлять на основе анализа влагопереноса в ненасыщенной зоне, учитывая влияние возмущающих факторов (суммарного испарения и осадков).

Более совершенным является *комбинированный принцип управления*, то есть управление по УГВ и влажност корневого слоя почвы. В этом случае возникает необходимость разработки и исследования информационно-измерительной системы (ИИС) сбора данных и контроля параметров водорегулирования на осушаемых землях. Учитывая значительную инерционность влагопереноса в зоне аэрации, целесообразно реализовывать оперативное управление водорегулированием на системе с учетом основных возмущающих факторов – суммарного испарения и осадков. ИИС должна включать технические и программные средства идентификации указанных возмущающих факторов.

Современное состояние средств измерительной и микропроцессорной техники позволяет создавать соответствующие аппаратные и программные модули в составе информационно-измерительного контура системы водорегулирования. Известно, что на ОУС с подпочвенным увлажнением основной эксплуатационной расчетной величиной является усредненный УГВ, что влияет на влажность в корневом слое почвы. При этом условия водного питания будут оптимальны только в том случае, если поступление влаги к корневой системе будет компенсироваться потоком от уровня грунтовых вод.

Сегодня существуют различные подходы к расчету водного режима почв по соответствующим моделям.

Эмпирические модели – это модели, построенные по результатам наблюдений, когда количественные закономерности для анализа процессов получают путем обобщения эмпирически установленных закономерностей. В работах А. И. Еськова, В. П. Кубышкина, С. Потоцкого, А. В. Скрипника и других проведены натурные исследования по эффективности подпочвенного увлажнения, на основе которых получены эмпирические зависимости для расчета параметров водорегулирования для конкретных природных и почвенных условий. Их преимуществом является достоверность получаемых частичных результатов в пределах точности экспериментов. Но в то же время главный недостаток заключается в ограниченной ценности получаемых результатов. Очевидно, что результаты некоторого конкретного эксперимента нельзя использовать в отношении другого явления, некоторым образом отличающегося от изученного.

Модели баланса почвенной влаги – это модели, которые рассматривают, главным образом, два подхода к расчету водного режима почв [20]. Первый заключается в использовании в дискретном виде уравнения водного баланса активного (корнеобитаемого) слоя почвы (или зоны аэрации в целом) – интегральная форма представления водного баланса. Второй – в поиске многочисленных решений дифференциальных уравнений влагопроводности – дифференциальной форме представления водного баланса [44].

Первый метод позволяет прогнозировать доступные для растений запасы почвенной влаги с достаточной точностью и очень широко распространен на практике. По В. Ф. Шебеко [58] этот метод является универсальным инструментом для оценки и прогноза водного режима мелиорированных земель, и А. П. Лихацевич [20] считает, что традиционная интегральная форма представления водного баланса при расчете режима водорегулирования является более практичной. Главная трудность выявления элементов водного баланса по данному методу заключается в стохастичности природных процессов (осадков и суммарного испарения), динамики их во времени. А это, в свою очередь, предполагает необходимость аналитической связи элементов водного баланса с координатой времени.

Второй метод основан на принципе наиболее полного учета механизма перемещения почвенной влаги по профилю почвы и во времени, поэтому с теоретической точки зрения он является наиболее обоснованным. Начиная с Э. Чайлдса и С. Ф. Аверьянова, значительный вклад в развитие этого метода внесли И. Афанасик, А. И. Будаговский, А. Г. Голованов, Я. А. Олейник, В. А. Поляков и др. [31].

Эти процессы наиболее адекватно описываются динамическими моделями влагопереноса в зоне аэрации, в основе которых лежит уравнение Ричардса [66].

Уравнение вертикального влагопереноса представляет собой дифференциальное нелинейное уравнение параболического типа

$$\frac{\partial W}{\partial t} = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right] - F(W, z), \quad (22.7)$$

где C – влагоемкость $\left(\frac{\partial W}{\partial \psi} \right)$, 1/м; W – объемная влажность почвы, м³/м³; k – коэффициент влагопереноса, м/сут; ψ – капиллярно-сорбционный потенциал (всасывающее давление грунта), м; $F(W, z)$ – объем воды, который удаляется с единицы объема грунта за единицу времени (в основном это потребление воды растениями); z – вертикальная координата, расстояние от плоскости сравнения (начала координат) к точке почвенного профиля, в которой определяется величина потенциала влаги; t – время.

Уравнение (22.7) является изотермической моделью влагопереноса, однако влияние неизотермичности целесообразно учитывать только при иссушении верхнего слоя почвы. Для ОУС с подпочвенным увлажнением при выращивании влаголюбивых растений такой режим не является технологическим, что и определяет возможность использования данного уравнения. Оно используется в моделях А. И. Голованова [6], Л. М. Рекса [42], П. И. Ковальчука [14], SWAP [24,61] и др. SWAP-модель разработана учеными Вагенингесского университета и описывает процессы в системе: почва (Soil) – вода (Water) – воздух (Atmosphere) – растение (Plant), которые в полевом масштабе рассматриваются в течение вегетационного периода. В последние годы эта модель широко применяется для расчета статических и динамических режимов [61].

Методика идентификации УГВ на управляемом модуле [34] основывается на применении уравнения вертикального влагопереноса по профилю почвы, которое представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных с переменными коэффициентами и решается с использованием разностных схем [12, 13, 14] или с помощью готовых программных продуктов, в частности SWAP-модели [24, 61].

SWAP-модель проверена на адекватность на основе измерений содержания влаги в почве и потоков эвапотранспирации на опытных участках [7]. Результаты исследований приведены на рисунке 22.5.

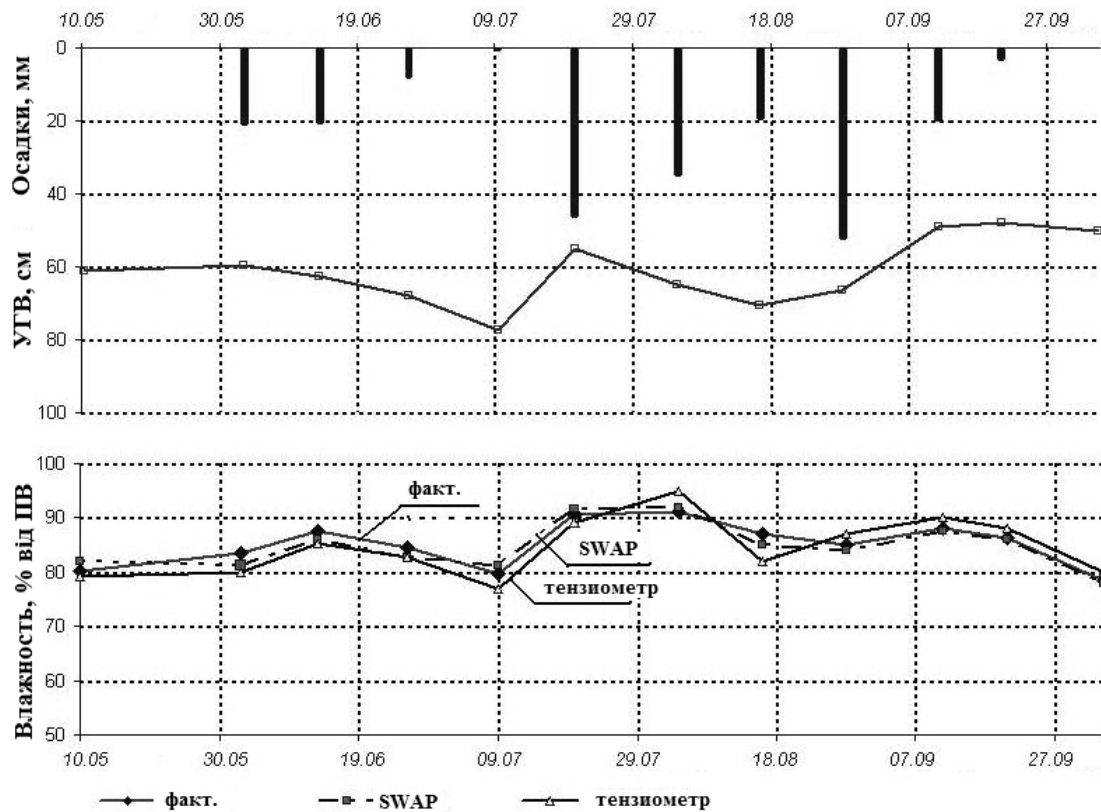


Рис. 22.5. График распределения влажности почвы, УГВ и осадков в слое 0–30 см за вегетационный период на управляемом модуле (травы)

Компьютерная модель SWAP находит численное решение квазилинейного уравнения параболического типа при точно установленных начальных и граничных условиях. На нижней границе задаются граничные условия первого или второго рода, то есть значение потенциала (УГВ) или потоков с ниже расположенными слоями почвы. Такой способ задания граничного условия позволяет моделировать стационарные и нестационарные изменения уровня грунтовых вод и фильтрационных потоков.

Таким образом, использование уравнения влагопереноса (22.7) для прогнозирования движения влаги в зоне аэрации предполагает наличие достоверной информации о гидрофизических свойствах почвы, при этом возникает необходимость в определении ряда функций, которые описывают свойства почв удерживать и проводить почвенную влагу под действием термодинамических сил и их градиентов. К таким функциям относятся: основная гидрофизическая характеристика (ОГХ), это зависимость всасывающего давления грунта от его влажности $\psi(W)$ и функция влагопроводности ненасыщенных почв. ОГХ характеризует энергетическое состояние влаги в почве и непосредственно связана с его основными гидрофизическими и физико-механическими свойствами. Из-за влияния гистерезиса она неоднозначна для процессов осушения и увлажнения. Говоря о функции влагопроводности, различают характеристику влагопроводности, что связывает коэффициент влагопроводности и потенциал почвенной влаги $k(\psi)$ и характеристику, которая связывает коэффициент влагопроводности почвы и его влажность $k(W)$. Эти характеристики являются отражением строения порового пространства почвы и поэтому связаны между собой. На основе представления о строении порового пространства и феноменологии движения влаги в порах почвы было много попыток установить аналитически связь между этими характеристиками [5, 28].

Универсальной функцией, что отражает влияние всех факторов, которые могут влиять на энергетическое состояние воды в почве, является потенциал влаги. Как известно, вода перемещается всегда от большего потенциала к меньшему. Действующей силой является градиент свободной энергии или потенциал почвенной влаги, отображающий силы, вызывающие изотермический поток влаги. В изотермических условиях составляющими потенциала влаги являются: капиллярное давление, осмотические и гравитационные силы. Поэтому гидравлическая проводимость ненасыщенных влагой

почв (капиллярная проводимость k , м/сутки) характеризуется не одним значением (как при насыщенном влагопереносе), а является функцией от всасывающего давления $k = k(\psi)$ или от влажности почвы $k = k(W)$. Потенциал влаги является эквивалентом глубины осушения и определяется положением точки в зоне аэрации по отношению к уровню грунтовых вод. Кроме того, влажность почвы является основным показателем ее увлажненности, общих влагозапасов, доступности влаги растениям.

С точки зрения влагопроводности почвенный профиль делится на две части: снизу – область полного насыщения, где движение свободной влаги происходит под действием силы тяжести согласно законам фильтрации, а сверху – область с движением воды в ненасыщенной почве. Изучением количественных закономерностей перемещения влаги в почве занимались А. М. Алпатьев, А. Д. Воронин, А. М. Глобус, Н. А. Муромцев, А. А. Роде, И. И. Судницын и др. [4, 5, 28, 43, 46].

На практике нет единого метода, который бы позволил получить ОГХ $\psi(W)$ в пределах диапазона естественной влажности. Для получения такой зависимости обычно применяют несколько экспериментальных методов: тензиометрический – в диапазоне от 0 до 80 кПа; мембранного пресса или измерения в центрифуге – 0... 1000 кПа [28, 49]; гигроскопический – 3000...230000 кПа.

В диапазоне влаги от полного влагосодержания (ПВ) до 50–60 % наименьшего (НВ) основная роль во взаимодействии воды с твердой фазой почвы принадлежит капиллярно-сорбционным силам, поэтому при контроле состояния и доступности почвенной влаги для растений рассматривался тензиометрический метод, который реализовывался с помощью тензиометрических влагомеров [26, 37, 41].

Для определения коэффициента влагопроводности используют стационарные и нестационарные методы [5, 21]. *Стационарные методы* более простые, но их использование ограничивается узким интервалом значений величины коэффициента влагопроводности. Кроме того, основным их недостатком является длительность эксперимента, которая квадратично растет с длиной образца. К стационарным относим методы, реализуемые с помощью потокомеров и колонн [5, 28]. Основными трудностями при использовании данных методов является экспериментальное определение влажности и потоков влаги по профилю почвы. *Нестационарные методы* требуют меньших затрат времени экспериментатора по сравнению со стационарными, но достоверность и точность полученных данных зависят от того, насколько условия опыта соответствовали целому ряду теоретических предположений.

Сложная природа зависимости почвы с водой в виде «влажность – потенциал – влагопроводность» чаще представляется в виде эмпирических формул и графиков. Предложено много эмпирических аппроксимативных формул для функции влагопроводности, которые с определенной точностью воспроизводят эту функцию на отдельных интервалах [5]. Наиболее известны формулы Ван Генухтена (1980), Муалема (1976), Брукса и Кори, Гарднера, Уинстона, К. П. Лундина, С. Ф. Аверьянова, В. А. Бодрова, А. И. Будаговского. В данной работе коэффициент влагопроводности определялся по эмпирическим формулам Ван Генухтена, Аверьянова, Лундина, Уинстона.

Формулы, которые получил Ван Генухтен [66], используя в интегралах формул Муалема и Бердайны [63] выражения для водоудерживающей способности почв и влагопроводности

$$k(W) = k_f \cdot S_e^{1/2} \left[1 - \left(1 - S_e^{1/2} \right) \right]^2, \quad (22.8)$$

$$\text{де } S_e = \frac{W - W_r}{W_s - W_r} = \frac{1}{\left[1 + (\alpha \cdot \psi)^n \right]^m}.$$

$$k(\psi) = \frac{k_f \cdot \left\{ 1 - (\alpha \cdot \psi)^{m \cdot n} \cdot \left[1 + (\alpha \cdot \psi)^n \right]^{-m} \right\}^2}{\left[1 + (\alpha \cdot \psi)^n \right]^{m \cdot l}}, \quad (22.9)$$

где m, n, α – параметры аппроксимации экспериментальных данных ОГХ, где $m = 1 - \frac{1}{n}$,

$0 < m < 1$; n, α – два основных параметра аппроксимации реальных данных ОГХ, которые имеют физический смысл, n – безразмерная величина, характеризующая угол наклона кривой ОГХ, ее крутизну ($n = 1 \dots 4$), α – величина, обратная значению давления воздуха и поэтому имеет размерность 1/м; k_f – коэффициент фильтрации (м/сут); ψ – капиллярно-сорбционный потенциал (м); W – объемная влажность, которая соответствует данному потенциала (%); W_r – минимально возможная влажность (%); W_s – полная влагоемкость (%).

Формула Уинстона [5]

$$k(\psi) = k_f \cdot \left(\frac{1}{\psi} \right)^m, \quad (22.10)$$

где ψ – всасывающее давление (потенциал) почвы; k_f – коэффициент фильтрации; m – эмпирический коэффициент ($m = 2$ для глинистых и дерново-подзолистых почв, $m = 2,5$ для торфяных почв, $m = 4$ для песка).

Формула С. Ф. Аверьянова [5]

$$k(W) = k_f \cdot \left(\frac{W - W_0}{W_{ПВ} - W_0} \right)^{3,5}, \quad (22.11)$$

где k_f – коэффициент фильтрации м/сутки; W – объемная влажность,%; $W_{ПВ}$ – полная влагоемкость,%; W_0 – минимально возможная влажность, %.

Приближенные выражения для расчетов коэффициента влагопроводности (К. П. Лундин, В. М. Ганчарик, И. А. Папкевич, 1972) [21]:

– для песка и верхних слоев торфа

$$K_g = 0.001 \cdot e^{10\eta}; \quad (22.12)$$

– для подпахотного слоя торфа

$$K_g = 0.001 \cdot e^{7\eta}, \quad (22.13)$$

где $\eta = \frac{W - W_0}{W_{ПВ} - W_0}$ – коэффициент влажности; W – объемная влажность (%); $W_{ПВ}$ – полная влагоемкость (%); W_0 – минимально возможная влажность (%).

Расчеты проводились для дерново-подзолистых и торфяных почв (табл. 22.4.)

Таблица 22.4

Результаты расчета коэффициента влагопроводности почвы по эмпирическим формулам

№ п/п	Формула	Дерново-подзолистая почва			Торфяная почва		
		Среднеквадратическое отклонение			Среднеквадратическое отклонение		
		0,05 ... 0,3 м	0,4 ... 0,7 м	0,8 ... 1,5 м	0,05 ... 0,25 м	0,3 ... 0,5 м	0,6 ... 0,9 м
1	Ван Генухтен	0,204	0,378	0,360	0,179	0,203	0,208
2	Аверьянов	0,406	0,511	0,703	0,462	0,612	0,901
3	Лундин, Ганчарик, Папкевич	-	-	-	0,533	0,943	1,784
4	Уинстон	1,012	0,973	2,622	2,241	2,927	3,773

Согласно результатам сравнения с опытными данными лучшие результаты аппроксимации показали эмпирические формулы Ван Генухтена и Аверьянова.

В настоящее время возникла и активно развивается область решения задач, связанных с прогнозированием, моделированием и контролем грунтовых свойств, с помощью программных компьютерных средств. Последние основаны на принципах нечеткой логики (fuzzy logic), теории невероятности, генетических алгоритмов [64] и искусственных нейронных сетей. Проблема использования нейронных сетей для идентификации гидрологических и водно-физических свойств почв рассмотрены многими исследователями [62, 63, 64, 65]. Так, искусственные нейронные сети были использованы Шаапом [62, 65] для нахождения параметров уравнения Ван Генухтена.

Итак, поставлена задача разработки альтернативной методики расчета коэффициента влагопроводности почвы $k(W)$ на базе нейронных сетей [10]. Главной составляющей методики является расчет коэффициента влагопроводности почвы на базе нейросетевых технологий [33]. Суть расчета сводится к определению коэффициента влагопроводности почвы с помощью многослойной нейронной сети на основе входных параметров, которыми являются всасывающее давление (потенциал) почвы или его влажность, которые получают с помощью тензиометрических влагомеров.

Для этого создадим сеть вида

$$k = NN(W); \quad (22.14)$$

$$k = NN(\psi), \quad (22.15)$$

где W – значение влажности почвы, % об.; ψ – значение всасывающего давления грунта, м; NN – преобразование нейронной сети.

В ходе проведенных исследований выявлено, что лучшую точность показала многослойная нейронная сеть, сеть с радиальными базисными элементами, обобщенно-регрессионная и сеть с радиальными базисными элементами с нулевой ошибкой (рис. 22.6)

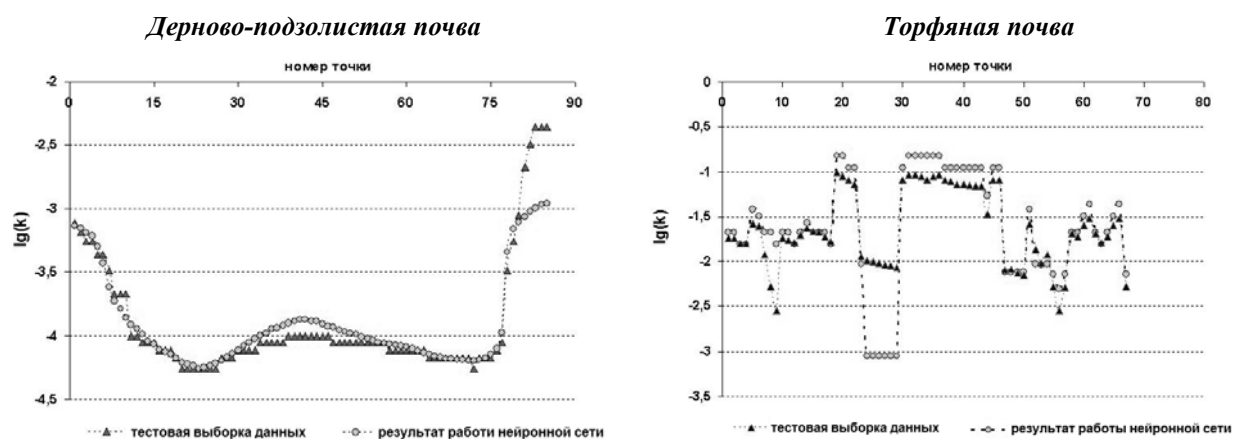


Рис. 22.6. Результаты расчета коэффициента влагопроводности почвы с помощью многослойной нейронной сети на тестовой выборке данных

22.4.2. Средства автоматизации для реализации оперативного водорегулирования в условиях его рельефной дифференциации. Реализация оперативного водорегулирования на ОУС требует разработки современных технических средств сбора оперативной информации о состоянии регулируемых параметров и возмущающих факторов, применения средств гидравлической автоматизации.

Например, текущая информация о влагозапасах корнеобитаемого слоя почвы в автоматизированных системах управления на ОУС необходима для принятия оперативных решений при реализации экологически чистых технологий выращивания сельскохозяйственных культур с целью получения максимального урожая. Повышение показателей качества систем управления влагообеспеченности сельскохозяйственных культур на осушаемых землях можно осуществлять с помощью постоянного контроля влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы. Сложность изучения динамики влажности почвы обусловлена тем, что в природе под влиянием различных факторов происходит сочетание изменчивости влажности со временем и в пространстве, что существенно влияет на оценку влагозапасов. Все это затрудняет автоматизацию водорегулирования на осушаемых землях, установление и размещение датчиков влажности почвы, а это формирует сигналы для управления при подпочвенном увлажнении (их количество, точность показаний, диапазон допустимых отклонений от рекомендуемых значений влажности и др.).

В составе информационно-измерительных систем (ИИС) используются разные по конструкции и принципу действия влагомеры, но их количество и расположение на опытных участках подробно не обосновано, кроме того, не предусмотрена возможность контроля текущих усредненных влагозапасов, что ограничивает использование разработанных измерительных систем. Нужно отметить, что существующие методики размещения влагомеров на репрезентативных участках разработаны для условий орошения [8] и не учитывают изменение влажности в пространстве при различных УГВ на осушаемых землях.

Существуют различные методы и способы определения влагозапасов почвы. Одним из точных считается подход, когда необходимую информацию получают в результате систематического контроля во времени по фактическим влагозапасам почвы (*инструментальные методы*).

Другой подход основывается на получении необходимой информации в результате расчетного прогнозирования изменения влагозапасов относительно исходных данных о влажности в зависимости от погодных условий, или расчетного прогнозирования в сочетании с прямым контролем влагозапасов (*расчетные методы*).

Кроме того, существуют подходы определения влагозапасов почвы, основанные на диагностике и контроле физиологического состояния растений, фиксирующие динамику (скорость) их роста вегетативных и репродуктивных органов (*биологические методы*) и слежение за изменением окраски растений (*визуальные или органолептические методы*) [29].

Инструментальные методы измерения влажности почвы разделяют на прямые, косвенные и дистанционные (бесконтактные) [4, 8].

В свою очередь, способы измерения влажности почвы профессор В. А. Емельянов [8] подразделил на точечные и площадные. *Точечные* – влажность почвы определяют в отдельных репрезентативных точках (пробах). *Площадные* – влажность почвы определяют одновременно с определенной площади (обычно от 100 до 500 га).

Сегодня инструментальные методы наблюдения за влажностью почвы, которые проводят агрогидрометеослужбы в течение многих лет, являются наиболее полными и надежными данными. Очень часто информация про грунтовые влагозапасы используется при разработке расчетных методик их определения.

Расчетные методы – методы, которые связывают поступление влаги в корнеобитаемый слой почвы с метеорологическими факторами, эвапотранспирацией, производительностью растений, индексами увлажнения, а также по уравнению водного баланса [21] и др.

Большинство современных методов определения влажности почвы относятся к группе косвенных методов (способ – точечные измерения путем закладки датчиков на репрезентативных участках) и базируются на определении параметров, которые находятся в тесной корреляционной связи с влажностью почвы. Среди самых известных можно назвать такие технические устройства: SM200-UM-1.1 (Великобритания), StopSense (США), iMetos ECO (Германия) др. [29, 57]. Это электронные устройства, которые устанавливают в почвенный профиль и проводят регулярные (с заданной периодичностью) считывания показателей влажности почвы и их накопление в памяти прибора. Собранная информация накапливается и передается на специализированный сервер с помощью GPRS модема.

Сегодня в Украине получают распространение мобильные Интернет-метеостанции, которые дополнительно могут оснащаться сенсорами влажности почвы типа Watermark или Echo Probe [29]. Они дают возможность оперативно контролировать влажность почвы в зоне увлажнения.

С неэлектрических методов чаще всего используют наиболее простой, доступный и достоверный метод – *тензиометрический*, который основан на зависимости всасывающей силы почвы от ее влажности и реализуется с помощью тензиометрического влагомера. Принцип действия влагомера [28] основывается на свойстве ненасыщенной влагой почвы впитывать воду. Всасывающая сила почвы, которая возникает при этом, соответствует определенной степени влажности почвы и фиксируется индикатором давления. Измеряют эту силу с помощью пористого керамического бактериального фильтра, заполненного водой и герметично закрытого сверху. Фильтр устанавливают в почву на глубину определения влажности. По мере высыхания почвы влажность ее уменьшается, а отсчеты растут. Диапазон фиксации датчиком разрежения, создаваемого в тензиометре – от 0 до 9 м вод. ст. (–100 кПа). Большого разрежения прибор практически не фиксирует, поскольку керамический фильтр его становится воздухопроницаемым.

Тензиометрический влагомер измеряет капиллярный потенциал почвенной влаги. По показаниям индикатора определяют всасывающее давление, а при соответствующей градуировке – и влагосохранение почвы, то есть получают зависимость влажности от всасывающего давления $U = f(P)$.

В системах автоматического контроля используют тензиометры, в которых вместо микрометрического индикатора перемещения установлен электроконтактный вакуумметр, что позволяет получить сигналы при достижении установленных максимального и минимального значений влажности. Для получения аналогового сигнала применяют тензиометры с емкостными или индуктивными преобразователями. В этом случае мембрана действует на перемещение обкладки емкостного преобразователя или на якорь индуктивного.

В тензиометрических влагомерах (рис. 22.7) в качестве первичного преобразователя для измерения разрежения используются электронные датчики [37]. Аналоговый сигнал с этого датчика превращается в цифровую форму с помощью аналогово-цифрового преобразователя и обрабатывается микроконтроллером.

Тензиометры просты по конструкции и надежны в эксплуатации. Но они имеют свои недостатки – необходимость постоянной перезаправки водой и необходимость постоянного пересчета давления на влажность почвы.

Исследованиями Института водных проблем и мелиорации НААН Украины (ИВПиМ) [41] и ряда других ученых [28] установлено, что использование тензиометров для контроля влажности кор-

необитаемого слоя почвы обеспечивает необходимую точность и оперативность по сравнению с другими методами.

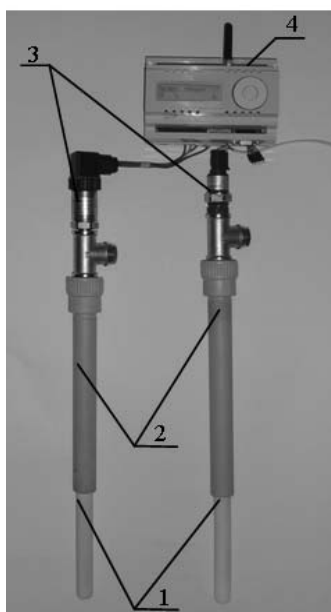


Рис. 22.7. Общий вид тензиометрического влагомера:

- 1 – керамический фильтр;
- 2 – водная камера;
- 3 – электронный датчик разрежения;
- 4 – концентратор данных.

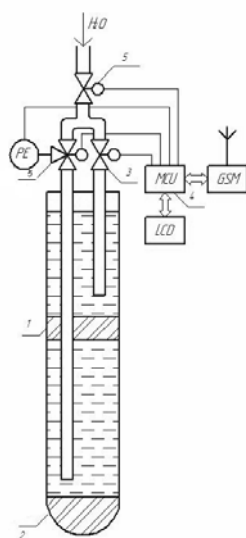


Рис. 22.8. Конструкция тензиометра с автоматической дозировкой:

- 1 – измерительный фильтр;
- 2 – фильтр подпитки;
- 3, 5 – двухходовые электромагнитные клапаны;
- 4 – микропроцессорное устройство;
- 6 – трехходовой электромагнитный клапан.

Предложена конструкция тензиометра с автоматической дозировкой [36, 37], которая конструктивно состоит из двухкамерной пластиковой трубы с измерительным 1 и подпитывающим 2 керамическими фильтрами (рис. 22.8).

Разрежение в измерительной камере измеряется электронным датчиком РЕ и передается на микропроцессорное устройство MCU 4 для обработки, передачи по GSM-каналу и анализа информации. Элементами настройки тензиометра служат два двухходовых электромагнитных клапана 3 и 5 и один трехходовый электромагнитный клапан 6. Датчик разрежения РЕ подключен к электромагнитному клапану 6, что обеспечивает его соединение с первой или второй камерами тензиометра. Управление клапанами осуществляется с помощью микропроцессорного блока через релейные элементы.

Разработано программное обеспечение для микроконтроллера, которое обеспечивает в зависимости от назначения датчика работу в двух режимах: в режиме измерения влажности корнеобитаемого слоя почвы с автоматической дозировкой или в режиме периодического измерения на двух глубинах почвенного профиля.

Данные о всасывающем давлении грунта по беспроводному каналу связи передаются на диспетчерский пункт. Устройство имеет возможность передавать данные как по радиоканалу, так и с использованием GSM-сети.

На основе полученной информации система управления по соответствующим алгоритмам [34, 35] синтезирует управляющие воздействия, обеспечивая ресурсосберегающие режимы водорегулирования.

Таким образом, наиболее перспективной оценкой влагообеспеченности растений, с точки зрения практической реализации, является получение оперативной информации о влагозапасах корнеобитаемого слоя почвы путем разработки измерительной системы влажности почвы на базе тензиометрических влагомеров.

Соответственно *информационно-измерительную систему* можно реализовать на основе стационарных закладных тензиометрических влагомеров, размещаемых определенным образом на репрезентативном участке управляемого модуля на осушительно-увлажнительной системе.

Количество влагомеров и параметры их размещения на репрезентативном участке управляемого модуля определяются по методике, которая опирается на известные статистические методы [7] и учитывает неравномерность формирования влагозапасов по площади и профилю почвы при различных УГВ.

Данный вопрос решался на примере системы двустороннего регулирования Сарненской научно-исследовательской станции в течение 2009–2010 гг. (период наблюдений IV–IX месяцы).

В частности, выбор репрезентативного участка осуществляется на основе анализа корреляционной связи динамики влагозапасов по всей площади модуля и его отдельных участков в соответствии с построением гистограммы отметок высот поверхности. Гистограммы выражают количественно-качественные изменения состояния мелиоративных земель, то есть соответствующую динамику гидрологического состояния территории.

При увлажнении, когда влажность корнеобитаемого слоя определяется уровнем грунтовых вод, идентификацию репрезентативного участка целесообразно осуществлять с пространствен-

ным распределением глубины зоны аэрации при условии близкого к стационарному залегания УГВ на глубину заложения дренажа или ниже.

При расчете количества влагомеров предполагается, что их размещают в статистически независимых точках на репрезентативном участке для минимизации взаимного влияния изменения влажности почвы. Для выполнения этого условия необходимо определять радиус корреляции [7], то есть минимальный интервал между точками измерений, при котором измерения можно считать практически независимыми.

При наличии исходной информации в виде дискретизированного через определенное расстояние l значений влажности почвы наиболее целесообразным является определение радиуса корреляции из анализа автокорреляционной функции

$$K_W(l) = \frac{1}{(L-n)} \sum_{i=0}^{L-n-1} \frac{(W_i - M_W)(W_{i+k} - M_W)}{D_{W_i}} \quad (22.16)$$

где L – количество измерений; W_i и W_{i+k} – значение влажности почвы; $M_W = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} W_i$ – математическое ожидание; $D_{W_i} = \frac{1}{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} (W_i - M_W)^2$ – дисперсия процесса.

Автокорреляционная функция (22.16) аппроксимируется выражением

$$k(l) = e^{-\alpha \cdot l} \cdot \cos \beta \cdot l, \quad (22.17)$$

где коэффициенты $\alpha = -2,13$, $\beta = 7,41$.

Для автокорреляционной функции вида (22.17) радиус корреляции равен

$$l_k = \int_0^{\infty} [K(l)] dl. \quad (22.18)$$

Подставив (22.17) в выражение (22.18), получим

$$l_k = \frac{1}{\alpha(1+\mu^2)} \left[1 + \mu \cdot l^{-\frac{\pi}{2\mu}} + \frac{\mu}{e^{\frac{2\pi}{\mu}} - 1} \left(e^{-\frac{\pi}{2\mu}} + 2 \cdot e^{\frac{\pi}{2\mu}} + e^{\frac{3\pi}{2\mu}} \right) \right], \quad (22.19)$$

где $\mu = \frac{\alpha}{\beta}$.

Рассчитанное по формуле (22.16) значение радиуса корреляции = 0,4 м. Соответственно для минимизации взаимного влияния изменения влажности почвы отбор образцов необходимо проводить в точках, которые удалены на расстояние не менее 0,4 м.

На ОУС при различных режимах (абсорбции-сорбции) наблюдается неравномерность распределения влаги, вызванной воздействием дренажной сети. Необходимость формирования сигналов управления в динамических режимах определяет размещение точек контроля от междренья к дренам. Но размещение точек контроля на одной прямой, перпендикулярной линиям дренажа, нецелесообразно по причине возможных ошибок из-за аномалий горизонтального влагопереноса от дрены к междренью, и поэтому их необходимо разместить на прямой, идущей от междренья к дрене под углом. Практически угол наклона необходимо принять не менее 30° . Кроме того, расстояние между точками контроля ограничено радиусом корреляции. Последние к дренажу точки следует располагать на расстоянии не менее 1,5...2,0 м от дрены, для исключения влияния крупных напоров в режимах увлажнения.

Таким образом, между средней влажностью по площади участков и площадью всего модуля в пределах диапазона оптимальной влажности существует тесная связь. В соответствии с разработанной методикой контроль влагозапасов почвы можно осуществлять путем осреднения данных тензиометрических влагомеров (до 3...5 штук), которые устанавливаем по междренью в статистически независимых точках.

22.5. Инвестиционная оценка эффективности внедрения результатов научных исследований

Общая оценка экономической эффективности вариантов по рельефным условиям и условиям водорегулирования по соответствующей методике [51, 53], разработанной совместно на кафедре гидромелиорации и кафедре менеджмента НУВХП, показала, что реализация разработанного комплекса

организационно-технических мероприятий по повышению эффективности водорегулирования осушаемых земель, на основе рельефной дифференциации организации и автоматизации управления им при создании и функционировании ОУС является экономически целесообразной в условиях ОУС Сарненской исследовательской станции.

Основными показателями, используемыми при расчете инвестиционной привлекательности мелиоративного проекта, являются чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности инвестиций (ИДИ), дисконтированный срок окупаемости (ДСО) и внутренняя норма доходности (ВНД) инвестиций.

В общем случае модель выбора оптимального для реализации варианта мелиоративного проекта и обоснование его эффективности на стадии инвестиционной оценки имеет вид

$$ИДИ(s_o) = \max_{\{i\}}(ИДИ_i) , \quad i = \overline{1, n} \quad (22.20)$$

при условии, что

$$\begin{cases} ЧДД_i \geq 0; \\ ВНД_i \geq d_i; \\ ДСО_i \geq T_{np}. \\ k_n \geq 0,51 \end{cases} \quad (22.21)$$

где d_i – норма дисконта по варианту ПР; T_{np} – приемлемый для инвестора дисконтированный срок окупаемости вложений.

Расчет общей экономической эффективности

Общая экономическая эффективность отражает эффективность проекта с точки зрения общества и экономики страны в целом и учитывает социальную значимость разработки. Согласно этому подходу формируются и показатели результатов (эффекта) и затрат при экономических расчетах.

Показатели общей экономической эффективности, входящие в общей модели по вариантам мелиоративного проекта определяются по соответствующим формулам согласно [51, 53]

Индекс доходности инвестиций:

$$ИДИ_i = \left[\frac{\sum_{t=0}^T (\Delta \overline{ЧД}_i + \Delta A_i - I_i) \cdot \alpha_{i_t}}{\sum_{t=0}^T I_i \cdot \alpha_{i_t}} \right] + 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (22.22)$$

где $\Delta \overline{ЧД}_i$ – прирост годового прогнозного чистого дохода в результате реализации i -го варианта мелиоративного проекта, тыс. грн.; ΔA_i – прирост годовых амортизационных отчислений, связанный с введением в действие новых основных мелиоративных и сельскохозяйственных фондов по результатам реализации i -го варианта мелиоративного проекта, тыс. грн.; I_i – годовая сумма инвестиций на реализацию i -го варианта мелиоративного проекта, тыс. грн.; T – горизонт расчета, годы.

Чистый дисконтированный доход:

$$ЧДД_i = \sum_{t=0}^T (\Delta \overline{ЧД}_i + \Delta A_i - I_i) \cdot \alpha_{i_t}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (22.23)$$

внутренняя норма доходности:

$$\sum_{t=0}^T [\Delta \overline{ЧД}_i + \Delta A_i - I_i / (1 + ВНД_i)^t] = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (22.24)$$

дисконтированный срок окупаемости инвестиций T_o :

$$\sum_{t=0}^{T_o} (\Delta \overline{ЧД}_i + \Delta A_i - I_i) \cdot \alpha_{i_t} = \sum_{t=0}^{T_o} I_i \cdot \alpha_{i_t}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (22.25)$$

Прогнозный годовой чистый доход является средневзвешенным значением по группам лет в рамках проектного срока функционирования объекта и может быть определен в виде

$$\overline{ЧД}_i = \sum_{j=1}^m ЧД_{ij} \cdot \alpha_{pj}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (22.26)$$

Оценка экономической эффективности основана на предложенной методике и выполнена по показателям различных вариантов водорегулирования осушаемых земель с развитым рельефом местности для условий реального проекта на ОУС Сарненской опытной станции Института водных проблем и мелиорации НААН Украины (см. пункт 22.1)

Исходные данные для определения общей эффективности разработки приведены в таблице 22.5

Таблица 22.5

Исходные данные для расчета общей эффективности вариантов

№ п/п	Показатель	Вар. 1 – эталон	Вар.2 – нерегулируемые условия	Вар. 3 – регулируемые условия
1	Прирост годового чистого дохода, средневзвешенного по группам лет, тыс. грн.	14400	3120	10560
2	Прирост амортизационных отчислений в результате внедрения комплекса, тыс. грн.	1700	1800	2100
3	Инвестиции на внедрение комплекса, тыс. грн.	34000	35000	42000

В качестве нормы дисконта использовано значение учетной ставки НБУ 8,0 %. Расчет осуществлен на срок 16 лет.

Обобщенные результаты общегосударственной экономической эффективности инвестиций приведены в таблице 22.6.

Таблица 22.6

Основные показатели общегосударственной экономической эффективности инвестиций

№ п/п	Показатель	Вар. 1 – эталон	Вар.2 – нерегулируемые условия	Вар. 3 – регулируемые условия
1	Индекс доходности инвестиций	4,191	1,244	2,668
2	Чистый дисконтный доход, грн. / га	108507	8548,74	70058,33
3	Дисконтный срок окупаемости инвестиций, лет	3	11	5

Очевидно, что по всем использованным критериям данный проект является эффективным с точки зрения экономики в целом.

Оценка общегосударственной эффективности инвестиций в проект реконструкции ОУС Сарненской опытной станции с введением данных научно-технических разработок показала, что при капитальных затратах 42 тыс. грн. /га совокупный дисконтированный доход при выращивании семян многолетних трав составляет 70 тыс. грн. /га при дисконтированном сроке окупаемости 5 лет.

Литература

1. Афанасик Г. И. Оперативное регулирование водного режима торфяных почв / Г. И. Афанасик, В. Н. Пятницкий, В. М. Гончарик [и др.] // Конструкции и методы расчёта мелиоративных систем : сб. науч. тр. – Минск: БелНИИМиВХ, 1985. – С. 59–63.
2. Баховец Б. А., Пастушенко В. И., Ткачук Я. В. Автоматизация осушительно-увлажнительных систем с подпочвенным увлажнением // Гидромелиорация и гидротехническое строительство. – 1982. – Вып. 10. – С. 21–26.
3. Бочаров С. Ю. Автоматизация водорегулирующих комплексов. – Ровно: Изд-во РГТУ, 2000. – 110 с.
4. Воронин А. Д. Основы физики почв : учеб. пособие. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 244 с.
5. Глобус А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей : монография. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 427 с.
6. Голованов А. И. Основы природообустройства : учеб. пособие / под ред. А. И. Голованова. – М. : Колос, 2001. – 214 с.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. Емельянов В. А. Способы измерения влажности почв при орошении // Гидротехника и мелиорация. – 1983. – № 2. – С. 56–60.
9. Зубец В. М., Сельчонок В. П., Мордухович Б. Ш. Автоматизация управления водным режимом на осушительно-увлажнительных системах // Мелиорация переувлажненных земель : труды. – Минск: Ураджай, 1978. – Т. XXVI. – С. 3–10.
10. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей : пер. с англ. – М.: Вильямс, 2001. – 286 с.
11. Коваленко П. И. Автоматизация мелиоративных систем. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
12. Коваленко П. І. Визначення параметрів підґрунтового зволоження двояршового ґрунту за даними натурних досліджень / П. І. Коваленко [та ін.] // Меліорація і водне господарство : міжвід. тематич. наук. збірник. – Київ: Аграрна наука, 1996. – Вип. 83. – С. 3–9.

13. Ковальчук В. П. Оптимізація технологічних параметрів регулювання водного та теплового режимів ґрунтів на основі системного моделювання : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Ковальчук Володимир Павлович. – Київ, 2002. – 23 с.
14. Ковальчук П. І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища : навч. посібник. – Київ: Либідь, 2003. – 208 с.
15. Козловський Б. І. Меліоративний стан осушуваних земель західних областей України. – Л.: Євросвіт, 2005. – 420 с.
16. Константинов А. Р., Астахова Н. И., Левенко А. А. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 126 с.
17. Коптюк Р. М., Рокочинський А. М. Врахування умов формування рельєфу місцевості у проектах нового будівництва й реконструкції осушуваних систем // Водні ресурси України та меліорація земель : зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. (22 березня, Україна). – Київ: ІВПіМ, 2013. – С. 162–163.
18. Кумачёв В. И. Исследование мелиоративного участка болота как объекта автоматического регулирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02. – Минск: БелНИИМиВХ, 1975. – 28 с.
19. Лазарчук М. О. Осушения земель. – Киев: ІЗМН, 1997. – 244 с.
20. Лихацевич А. П. К оценке точности уравнений водного баланса орошаемого поля // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 9. – С. 25–26.
21. Лундин К. П., Ганчарик В. М., Папкевич И. А. Исследование влагопроводности ненасыщенной почвы // Мелиорация переувлажнённых земель: труды. – Минск: Ураджай, 1972. – Т. XXI. – С. 96–119.
22. Матус С. К. Інформаційна система контролю вологозапасів кореневмісного шару ґрунту на осушувально-зволожувальних системах // Таврійський науковий вісник: науковий журнал. – 2009. – Вип. 65. – Ч. 2. – С. 146–152.
23. Матус С. К. Оцінка впливу рельєфних, кліматичних і технологічних факторів на умови формування водного режиму осушуваних земель // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 3(63). – С. 460–467.
24. Матус С. К. SWAP – модель. Визначення вологості ґрунту та динаміки вологозапасів на осушуваних землях // Актуальні проблеми та перспективи розвитку водного господарства і меліорації земель : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. (26–29 серпня, Україна). – Херсон, 2009. – С. 117–119.
25. Матус С. К. Автоматизація управління водним режимом на осушувально-зволожувальних системах // Вісник інженерної академії України. – 2015. – Вип. № 2. – С. 20–25.
26. Матус С. К. Вимірювання вологості та ідентифікація гідрофізичних функцій ґрунтів // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – 2015. – Вип. 1(69). – С. 302–310.
27. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем : посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (розділ 3. Осушувальні системи). – Київ, 2008. – 63 с.
28. Муромцев Н. А. Мелиоративная гидрофизика почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 265 с.
29. Наумов Р. Н. Сучасні технології в моніторингу вологості ґрунту // Агрогляд. – 2005. – № 2. – С. 11–13.
30. Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем : посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (розділ 3. Осушувальні системи). – Київ, 2006. – 50 с.
31. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажнённых земель. – Киев: Наук. думка, 1987. – 280 с.
32. Пастушенко В. Й., Наумчук О. М. Використання автоматичних гідрорегуляторів на закритій та відкритій регулюючих мережах осушувально-зволожувальних систем // Меліорація і водне господарство : зб. наук. праць. – 2006. – Вип. № 93–94. – С. 170–177.
33. Пастушенко В. Й., Матус С. К., Стеценко А. М. Ідентифікація коефіцієнта вологопровідності ґрунту за допомогою нейронних мереж // Біоніка інтелекту : наук.-техніч. Журнал. – 2012. – Вип. № 1(78). – С. 23–28.
34. Пастушенко В. Й., Матус С. К., Терновцов С. О. Інформаційне забезпечення систем управління вологозабезпеченістю на осушувально-зволожувальних системах з підґрунтовым зволоженням // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 2(38). – С. 123–130.
35. Пастушенко В. Й., Матус С. К., Терновцов С. О. Технічна структура автоматизованих систем керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на осушувально-зволожувальних системах з підґрунтовым зволоженням // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 3(39). – С. 319–326.
36. Пастушенко В. Й., Матус С. К., Шатний С. В. Технічні засоби дистанційного моніторингу на керованих модулях осушувально-зволожувальних систем // Вісник інженерної академії України. – 2012. – Вип. № 1. – С. 87–91.
37. Патент на корисну модель 00073 Україна, 7 G01N 33/24. Тензіометр з автоматичною дозаправкою / В. Й. Пастушенко, С. К. Матус, В. П. Червінко (Україна). – № 8038; 15.07.2005. – Бюл. № 7.
38. Патент на корисну модель 03637 Україна, G05D 22/00. Регулятор вологості кореневого шару ґрунту / В. Й. Пастушенко, С. К. Матус, А. М. Стеценко (Україна). – № 26737; 10.10.2007. – Бюл. № 16.
39. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
40. Рекомендации по способам оперативного контроля водного режима почвы и принятию решений по его регулированию на мелиоративных системах / А. П. Лихацевич [и др.]. – Минск, 2007. – 28 с.

41. Рекомендації з оперативного контролю та управління режимом зрошення сільськогосподарських культур із застосуванням тензіометричного методу / М. І. Ромащенко, В. М. Корюненко, М. М. Муромцев – Київ: ІВПіМ, 2012. – 71 с.
42. Рекс Л. М., Якиревич А. М. Методика расчета тепловлажностепереноса в насыщенных и ненасыщенных грунтах с помощью ЭВМ. Моделирование гидрогеохимических процессов и научные основы гидрогеохимических прогнозов. – М.: Наука, 1985 – 152 с.
43. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 663 с.
44. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромащенка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
45. Рокочинський А. М. Удосконалення технології проектування меліоративних проектів при оптимізації водорегулювання осушуваних земель / А. М. Рокочинський [и др.] // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : міжвідом. наук.-технічний збірник. – 2008. – Вип. 33. – С. 20–28.
46. Ромащенко М., Корюненко В., Шатковський А. Использование тензиометров для диагностики полива овощных культур на капельном орошении // Овощеводство. – 2007. – № 1 (25). – С. 70–73.
47. Ромащенко М. І., Драчинська Е. С., Шевченко А. М. Інформаційне забезпечення зрошувального землеробства. Концепція, структура, методологія організації. – Київ: Аграрна наука, 2005. – 196 с.
48. Сельченко В. П., Мордухович Б. С. Алгоритмы, параметры и устойчивость автоматизированных осушительно-увлажнительных систем // Новые конструкции мелиоративных систем : сб. науч. тр. – Минск: БНИИМиВХ, 1982. – С. 14–27.
49. Смагин А. В., Садовникова Н. В., Мизури Маауиа Б. А. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. – 1998. – № 11. – С. 1362–1370.
50. Тимчасові рекомендації з прогнозування оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, Н. А. Фроленкова, С. В. Шалай [та ін.]. – Рівне : НУВГП, 2011. – 54 с.
51. Тимчасові рекомендації з оцінки інвестиційних проектів будівництва і реконструкції водогосподарських об'єктів та меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2013. – 43 с.
52. Ткачук М., Кириша Р. Дренажно-модульні системи та покращення їх вологопоглинаючої здатності за рахунок використання вертикальних фільтруючих елементів // Водне господарство України: науково-виробничий журнал. – 2009. – Вип. № 6. – С. 54.
53. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. – Рівне: НУВГП, 2007. – 257 с.
54. Хлапук М. М. Гідроавтоматичний регулятор рівнів води на модульних осушувально-зволожувальних системах / М. М. Хлапук, А. В. Яцик, Я. П. Стасюк [та ін.] // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : міжвідом. наук.-технічний зб. – 1997. – Вип. 22. – С. 8–16.
55. Хлапук М. М. Математична модель роботи модуля автоматизованої осушувально-зволожувальної системи / М. М. Хлапук, О. М. Ніколайчук, О. І. Тищенко [та ін.] // Меліорація і водне господарство : міжвідом. темат. наук. зб. – 2007. – Вип. 95. – С. 235–245.
56. Чалий Б., Мозоль Н. Проектування осушувально-зволожувальних систем блочно-модульного типу // Водне господарство України: науково-виробничий журнал. – 2009. – Вип. № 6. – С. 55.
57. Шатковський А., Чабанов А. Методи призначення строків вегетаційних поливів при капельному зрошенні // Водне господарство України: науково-виробничий журнал. – 2012. – № 4(100). – С. 18–24.
58. Шебеко В. Ф. Водохозяйственные расчеты при мелиорации переувлажненных земель. – Минск: Урожай, 2000. – 320 с.
59. Шкутов Э. Н. Алгоритмы управления уровнем режимом на осушительно-увлажнительных системах : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Шкутов Эдуард Николаевич – Минск: БелНИИМиВХ, 1984. – 25 с.
60. Яцик А. В. Гідроавтоматизовані модульні осушувально-зволожувальні системи / А. В. Яцик [та ін.] // Меліорація і водне господарство. – 1996. – № 83. – С. 123–130.
61. Kroes J. C. van Dam (eds), 2003. *Reference Manual SWAP version 3.0.3* Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-report 773. Reference Manual SWAP version 3.0.3. doc.211 pp.39 figs.; 6 tables; 17 appendices.
62. Marcel G. Schaap, Feike J. Leij Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem – van Genuchten model // Soil. Sci. Soc. Am. J. – 2000. – V. 64. – P. 843–851.
63. Mualem Y. A. New model for predicting hydraulic conductivity of unsaturated porous media // WRR. – 1976. – V. 12. – № 3. – P. 513–522.
64. Rahman M. S., Wang J., Deng W., Carter J. P. A Neural Network Model for the Uplift Capacity of Suction Caissons // Computers and Geotechnis. – 2001. – № 28. – P. 269–287.
65. Schaap M. G., Bouten W. Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks // Water Resour. Res. – 1996. – V. 32. – P. 3033–3040.
66. Van Genuchten M. Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil // Soil. Sci. Soc. Am. J. – 1980. – V. 44. – № 5. – P. 892–898.

Глава 23. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ЗОНЫ ПОЛЕСЬЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

23.1. Современное состояние и пути совершенствования автоматизации осушительно-увлажнительных систем

Современное техническое состояние внутрихозяйственных осушительных систем требует усовершенствования модернизации и полной реконструкции. Такая ситуация возникла из-за неудовлетворительного технического состояния мелиоративной сети в последние годы, кроме того, в засушливые периоды неэффективно используется потенциал систем двустороннего действия. В связи с этим существует потребность восстановления эффективного функционирования имеющихся мелиоративных систем на осушаемых землях зоны Полесья, что не в полной мере обеспечивается, если использовать только ручной режим водорегулирования. При этом большинство существующих средств водорегулирования требуют совершенствования, в частности, улучшения точности и быстродействия регулирования уровней воды. Поэтому необходимо повышать эффективность водорегулирования на осушительно-увлажняющих системах (ОУС) за счет использования современных автоматических гидравлических регуляторов, которые могли бы осуществлять регулирование в открытых и закрытых сетях.

Осушительная система представляет собой комплекс каналов, коллекторов, дрен и гидротехнических сооружений, позволяющих проводить сброс избыточных вод с поверхности и корнесодержащего слоя почвы. Теоретические исследования В. Е. Алекеевского, Г. И. Афанасика, В. С. Быстрицкого, В. Р. Булдея, С. Т. Вознюка, А. Ф. Дмитриева, П. И. Коваленка, В. И. Кумачева, Н. А. Лазарчука, Б. С. Маслова, О. В. Скрипника, И. Т. Слюсара, А. И. Тишенка, Н. Н. Хлапука, Н. Г. Цюпы, Б. И. Чалого, А. В. Черенкова, А. М. Янгеля, А. В. Яцыка, Н. В. Яцыка и других, а также практический опыт эксплуатации современных мелиоративных систем показывают, что использование чисто осушительных систем нецелесообразно, поскольку это приводит к переосушению земель и воздушной эрозии, что, в свою очередь, снижает содержание гумуса и, как следствие, плодородие почвы [5]. Кроме того, за последние 20 лет в зонах избыточного увлажнения через каждые 3–4 года наблюдаются засушливые годы. Значит, в современных условиях необходимо строить ОУС, а осушительные реконструировать.

ОУС оптимизируют условия роста сельскохозяйственных культур с учетом разнообразия возмущающих факторов. Они состоят из двух частей, осушительной – для отвода избыточной воды и увлажнительной – для подачи воды в корнеобитаемый слой почвы. Состав и конструкция увлажняющей части зависит от методов и способов увлажнения [10, 11].

Основная цель водорегулирования – это обеспечение рекомендованных норм осушения для различных сельскохозяйственных культур и почв. Практика эксплуатации дренажных систем показала, что соблюдение рекомендованных норм осушения возможно только с использованием различных технологий водорегулирования (осушение, предупредительное и увлажняющее шлюзование), но их реализация при ручном регулировании недостаточно эффективна из-за больших отклонений уровней грунтовых вод (УГВ) от рекомендованных, что доказано исследованиями О. В. Скрипника, Н. А. Лазарчука, А. В. Черенкова и др., которые провели обобщение фактических характеристик режимов УГВ.

Нормальное развитие растений обеспечивается при оптимальном соотношении всех жизненно необходимых факторов: света, тепла, воздуха, влаги и питательных веществ. Все они тесно взаимосвязаны, и изменение одного из них вызывает изменение других, но наиболее существенное значение имеет влажность корнеобитаемого слоя почвы. Поддержание её в оптимальных для развития растений пределах обеспечивается за счет проведения комплекса эксплуатационных мероприятий по регулированию водного режима, суть которых заключается в том, чтобы в периоды переувлажнения корнесодержащего слоя своевременно отвести избыточную воду, а в период нехватки подать ее на увлажнение в необходимом количестве [35]. Регулирование влагозапасов почвы и других факторов, от которых зависит урожайность сельскохозяйственных культур лучше всего осуществлять с помощью управления положением УГВ.

На осушаемых землях выделяют такие методы увлажнения: подпочвенное увлажнение и дождевание. При подпочвенном увлажнении создаются условия, обеспечивающие кратковременное полное насыщение корнеобитаемого слоя почвы за счет подъема УГВ до оптимального значения либо капиллярной подпитки от грунтовых вод. Регулирование УГВ осуществляется за счет инфильтрации воды из открытых каналов или закрытых дрен. Этот метод применяется на хорошо проницаемых

почвах. При дождевании воду в почву подают, распыляя ее над поверхностью земли специальными аппаратами, этот метод применяется при увлажнении овощных и кормовых культур, садов, культурных пастбищ, а также на участках со слабо проницаемыми почвами и развитым рельефом.

Из рассмотренных выше методов на ОУС чаще всего используется подпочвенное увлажнение, по сравнению с дождеванием оно дешевле, требует меньше затрат энергии и материалов, обеспечивает поддержание соответствующей структуры почвы, не приводит к эрозии, способствует аэрации и жизнедеятельности почвенной микрофлоры, улучшает тепловой режим, оставляет более сухим верхний слой, уменьшает заболеваемость растений, позволяет удерживать внесенные удобрения, не повреждает посевы поливной техникой, улучшает условия для механической обработки, позволяет автоматизировать подачу и распределение влаги по полям и управление водным режимом почвы. Подпочвенное увлажнение отличается простотой реализацией и эксплуатацией. Этот метод увлажнения используется преимущественно на объектах с почвенно-атмосферным питанием, при коэффициенте фильтрации почвы не менее 0,5 м/сут, глубиной залегания УГВ до 2,0 м, на землях с небольшими уклонами и с имеющимся источником подачи дополнительной воды.

Вместе с тем подпочвенное увлажнение имеет ряд недостатков: 1) высокую инерционность, в случае выпадения интенсивных дождей на увлажняемую территорию для снижения УГВ до нормы осушения нужно от 3 до 12 суток и более; 2) из-за недостаточной увлажненности верхнего слоя почвы этот способ ограничен в использовании для выращивания рассадных культур; 3) заиливания труб увлажнителей и их закупорку корнями растений [8].

Способы увлажнения – это технологические приемы или средства, при помощи которых реализуется тот или иной метод увлажнения в конкретных условиях. Они определяют характер регулирующей увлажняющей сети и конструкцию ОУС. Выбор способа увлажнения зависит от агроэкономических требований, площади и конфигурации отдельных полей увлажняющего участка, рельефа, наклона местности, водно-физических свойств почв, видов выращиваемых культур и др. Технологии подпочвенного увлажнения на ОУС зависят от способа увлажнения, динамики изменения УГВ и влажности почвы, напоров в дренах и коллекторах, продолжительности периодов увлажнения и осушения, количества поданной на увлажнение воды, а также параметров и конструкций регулирующей и проводной сети.

В условиях двустороннего регулирования расчет дренажа значительно усложняется. При этом полнота и точность решения поставленной задачи и достижения оптимальных результатов во многом определяется принятой математической моделью двустороннего регулирования, которая реализует ту или иную расчетную схему. В зависимости от принятой конструктивной и физической схемы увлажнения и степени достоверности их математической реализации А. Я. Олейником и В. Л. Поляковым предложена классификация математических моделей двустороннего регулирования [20]:

- 1) регулирование положения УГВ на участке между дренами;
- 2) регулирование УГВ с приблизительным учетом процесса влагопереноса в зоне аэрации на основе квазиуравновешенного режима изменения влажности;
- 3) приближенное регулирование режима влажности на основе увлажнения, которое происходит в результате дождевания и через подпитку от УГВ;
- 4) образование и поддержание оптимального режима влажности в корнеобитаемом слое почвы независимо от способа увлажнения, то есть благодаря решению общей задачи регулирования влажности в зоне аэрации.

В современной практике наиболее широко представлены методы расчета динамики УГВ в соответствии с 1-й моделью. Они базируются на решении задач безнапорной и неустановившейся фильтрации в гидродинамической и гидравлической постановках. Вопросами математического моделирования динамики УГВ занимались ученые С. Ф. Аверьянов, Б. А. Баховец, Г. П. Белова, А. Л. Бобровский, Н. Н. Веригина, Е. Вера, А. В. Внучкова, Ю. Я. Гольцов, Н. И. Губина, П. И. Коваленко, А. Я. Олейник, Н. Г. Пивовар, Н. П. Пылев, П. Я. Полубаринова-Кочина, В. Л. Поляков, А. Н. Пужай, Д. Б. Циприс, В. Я. Шапран, Н. В. Яцык и другие. Методы расчета горизонтального дренажа в большинстве случаев ориентированы на расчет динамики УГВ при размещении дрен на одинаковой глубине и для относительно простых схем движения. Но существуют и позволяющие рассчитывать параметры дренажа многослойных почв с учетом целостности области фильтрации и дрен, находящихся на разных высотах и расстояниях.

Кроме рассмотренного выше, динамика УГВ также зависит от суммарного испарения, атмосферных осадков и подпочвенного питания. В случае выпадения осадков интенсивность, которых превышает некоторое пороговое значение, нужно обеспечивать возврат УГВ над дренами в рекомендованную зону понижения уровня на междреннии [4]. Для этого лучше всего подходит принцип управления конечными состояниями, но его реализация с помощью существующих гидроавтоматов, а тем

более вручную затруднена. Поэтому гидроавтоматы, которыми оборудуется сеть, должны обеспечивать быстрое изменение уровня в автоматизированном режиме. Такое управление возможно при условии применения теории оптимального управления системами с распределенными параметрами.

Условием оптимального управления ОУС является ее максимальная эффективность при минимальном вреде окружающей среде и рациональному использованию водных ресурсов. В связи с этим современные ОУС должны быть технически совершенными и экономически рациональными для обеспечения оптимальных условий развития сельскохозяйственных культур [29]. Этого можно достигнуть, широко применяя методы регулирования стока путем создания оптимального режима УГВ на протяжении всего периода вегетации.

Учитывая изложенное, для оперативного управления ОУС требуется предусматривать комбинированные способы увлажнения с применением современных средств гидравлической автоматизации. При этом в случае выпадения осадков выше нормы прекращается подача воды на увлажнение, и система автоматически переключается на работу в режиме осушения [39]. Такой подход можно реализовать, если предусмотреть на регуляторах открытой и закрытой регулирующей сети устройства контроля за осадками, которые вырабатывают сигналы воздействия на регуляторы при выпадении критических норм осадков.

23.2. Объекты и условия проведения исследований

По рассмотренным теоретическими предпосылками существует потребность во всестороннем рассмотрении влияния автоматических гидравлических регуляторов на процессы водорегулирования реальных объектов с определением их параметров при соответствующих режимах работы. Потребность в использовании автоматизированного водорегулирования возникла в связи с необходимостью повышения эффективности существующих технологий водорегулирования (осушение, предупредительное и увлажнительное шлюзования) и из-за недостаточной эффективности ручного режима управления системами. Реализация этой задачи возможна путем разработки современных гидравлических регуляторов с соответствующим исследованием их действия в лабораторных и производственно-полевых условиях. При этом реальные условия объекта исследования можно рассматривать в виде схематизированных природно-мелиоративных условий для совокупностей расчетных метеорологических режимов, почв, технологий водорегулирования и сельскохозяйственных культур [32].

Лабораторные исследования гидрорегуляторов проводились путем активного эксперимента в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений (НУВХП) на установке, схема которой представлена на рисунке 23.1.

Такой подход позволяет проводить исследования в широких пределах изменения входных параметров. Для проведения исследований конструкций и принципов действия разработанных гидрорегуляторов в большом зеркальном лотке установлен колодец прямоугольной формы 1, с входным 2 и выходным 3 патрубками, на которые устанавливаются гидрорегуляторы в зависимости от исследуемого режима работы. На боковой прозрачной стенке колодца 1 и на боковых прозрачных стенках лотка до и после колодца закреплены пьезометрические трубки 4, 5, 6, которые гидравлически соединены с внутренней частью лотка и колодца и по миллиметровой шкале фиксируются значения уровня воды. Расход воды измеряется до и после колодца с помощью стационарно установленных треугольных водосливов. Изменение расхода производится с помощью электрифицированной заслонки на входном трубопроводе. Уровень воды после колодца поддерживается с помощью подпора. Время переходных процессов фиксируется электронным секундомером, а температура воды – ртутным термометром. При исследовании пропускной способности унифицированного запорного органа используется устройство измерения угла, а для его фиксации – механические зажимы-фиксаторы. Проведены всесторонние исследования разработанных конструкций гидрорегуляторов: 1) дренажного стока; 2) водоподачи; 3) двустороннего действия. Конструкция и принцип действия таких регуляторов рассмотрены при освещении результатов исследований.

Производственно-полевые исследования разработанных гидрорегуляторов проводились в 2004 г. на полях Олевской сорто-исследовательской станции, расположенной на территории Кишинской ОУС (F=3477 га). Эта система по рельефу, почвам, водному питанию и по другим показателям типична для Западного Полесья Украины. На землях Кишинской ОУС выращивают хмель, зерновые культуры, картофель, кормовую свеклу, многолетние травы и др.

Кишинская ОУС находится в средней части Западного Полесья Украины в бассейне реки Уборть, прилегая к ее правому берегу. Территория системы представляет собой зандровую равнину на кристаллической основе. На докембрийских гранитах и гнейсах – развитые пески и супеси флювиогляциального происхождения. На территории системы выделяются два водоносных комплекса:

1) в четвертичных отложениях; 2) в зоне трещин докембрийских кристаллических пород и продуктов их разрушения. На глубине 10...15 м водоносные горизонты разделены водоупором, который образован каолинами коры выветривания. Водоупор не имеет сплошного распространения, кроме того, в нем есть мелкие геологические «окна». При наличии водоупора уровни дочетвертичного комплекса на 1...2 м ниже уровня грунтовых вод. В местах отсутствия водоупора уровни обоих водоносных горизонтов совпадают. Разгрузка водоносного комплекса осуществляется в долине р. Уборть с частичным перетоком в четвертичный водоносный комплекс [38].

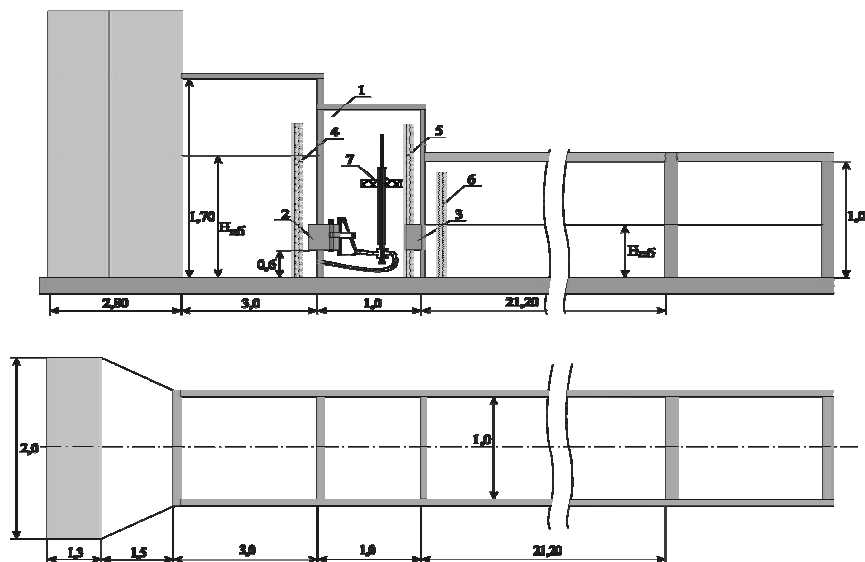


Рис. 23.1. Схема опытной установки для проведения лабораторных исследований гидравлических регуляторов: 1 – колодец прямоугольной формы; 2 – входящая труба; 3 – исходящая труба; 4, 5, 6 – пьезометрические трубки с миллиметровыми шкалами, 7 – исследуемый гидрорегулятор

На земельном массиве с общим уклоном к р. Уборть развитый микрорельеф в форме замкнутых понижений. Участки для производственно-полевых исследований размещены в верхней и нижней частях системы. Почвенный горизонт опытных участков состоит из дерново-подзолистых и дерново-глеевых песчаных и супесчаных почв четырехслойной структуры с коэффициентами фильтрации $K\phi=5,5...0,1$ м/сутки.

Климатические условия данной территории умеренные с мягкими зимами и влажным летним периодом. Среднегодовая температура воздуха 6,5 °С. Среднегодовое количество осадков 624 мм, а в период с апреля по октябрь – 382 мм. В теплые периоды года осадки выпадают в виде затяжных и ливневых дождей. Суммарное испарение за год составляет 500 мм.

Опытные образцы гидрорегуляторов были установлены на проточную сеть – гидрорегуляторы водоподдачи и дренажного стока, тупиковую сеть – гидрорегулятор двустороннего действия. При этом проводились исследования их влияния на выращивание сельскохозяйственных культур путем поддержания УГВ на рекомендованных для каждой культуры нормах осушения.

23.3. Средства гидравлической автоматизации ОУС и методы их расчета

23.3.1. Предпосылки и принципы разработки средств гидравлической автоматизации. Технология подпочвенного увлажнения определяется типом водного питания и степенью водопроницаемости осушаемых земель. Для увлажнения почв, как правило, используют предупредительное и увлажняющее шлюзование, которое, в свою очередь, делится на непрерывное (длительный подпор) и периодическое (циклическое) [32].

Сразу после прохождения весеннего паводка используют предупредительное шлюзование, для этого подпорные сооружения на каналах закрывают, в результате чего осуществляется задержка послепагодкового стока в каналах мелиоративной системы. Для этого предлагается использовать гидрорегуляторы двустороннего действия или дренажного стока, которые монтируются в коробчатые затворы шлюзов-регуляторов. На закрытой регулирующей сети осуществляется задержка дренажного стока с помощью гидрорегуляторов дренажного стока, устанавливаемых в колодцах по длине коллекторов или непосредственно на устьевых сооружениях. Эти устройства настраивают на уровне, соответствующем норме осушения для соответствующего севооборота и периода вегетации. Так обеспечивается использование продуктивной влаги для пополнения влагозапасов сельскохозяйственных угодий.

Вследствие использования предупредительного шлюзования снижение УГВ значительно замедляется, что предотвращает быстрое уменьшение влагозапасов почв. Эти меры позволяют полностью удовлетворить потребности в воде в средние по влагообеспеченности вегетационные периоды, а в засушливые – уменьшить количество воды при увлажнении.

Но предупредительное шлюзование не в полной мере обеспечивает необходимые уровни воды в каналах по всей длине, особенно в засушливые периоды. В таких случаях проводят увлажняющее шлюзование с подачей дополнительной воды из аккумулирующих емкостей в истоки коллекторов через специальные увлажняющие каналы или коллекторы. При использовании проточных коллекторов гидрорегуляторы водоподачи работают в режиме поддержания УГВ на норме осушения, а гидрорегуляторы дренажного стока продолжают работать в режиме подпора, регулируя сток. При увлажнении тупикового дренажа дополнительную воду подают по осушительным каналам против уклона, а регуляторы двустороннего действия автоматически переключаются в режим водоподачи. В случае выпадения осадков увлажнение необходимо прекратить и перевести систему в режим осушения, особенно при выпадении затяжных ливневых дождей. Таким образом, использование автоматических гидрорегуляторов при предупредительном и увлажняющем шлюзовании позволяет повысить эффективность водорегулирования и рационально использовать воду при увлажнении.

На территории правобережной части Украинского Полесья, в частности в северных районах Волынского Полесья, достаточно часто происходит чередование засушливых и влажных периодов. Наиболее засушливые периоды наблюдались в начале вегетации с температурой до 28...32 °С, а периоды с мая по июль – наиболее влажные, начиная с сентября и до конца вегетации характеризуются как влажные и чрезмерно влажные, причем продолжительность засушливых периодов может колебаться от 10 до 15 суток. Поэтому использование непрерывного увлажнения не обеспечивает содержание УГВ на норме осушения на протяжении всего периода увлажнения.

Как специальный вид подпочвенного увлажнения применяется периодический (циклический) режим, который позволяет учесть указанные недостатки и повысить оперативность водорегулирования. Быстрое повышение УГВ над дренами позволяет ускорить процесс растекания воды в междуречьях и соответственно его поднятия по всему увлажняющему массиву. После окончания допустимого срока переувлажнения (2–3 суток) УГВ снижают до нормы осушения и удерживают на таком уровне до начала нового цикла [32, 33 и др.].

В случае выпадения ливневых затяжных дождей, во время любого цикла гидрорегуляторы должны автоматически переключаться в режим осушения, а цикл увлажнения – повторяться сначала. Для проведения каждого следующего цикла необходимо обеспечить поддержку напора в дренах на уровне $h_0=0,5...0,7$ м. Разработанные гидравлические регуляторы за счет гибкого механизма изменения уставки поплавков позволяют успешно реализовать описанные способы регулирования на проточных и тупиковых ветвях ОУС.

Использование такого подхода требует комплексного решения вопросов регулирования водно-воздушного режима [37], это обусловлено необходимостью повышения эффективности водорегулирования за счет более высокой точности и быстродействия с учетом различных возмущающих факторов. Для этого нужно использовать простые и надежные средства гидравлической автоматизации, которые бы эффективно осуществляли процесс водорегулирования на протяжении всего периода вегетации. Они должны иметь широкие пределы применения и вместе с тем быть унифицированными и конструктивно простыми и не нуждаться в переоборудовании колодцев и сети.

Существующие гидравлические регуляторы влияния регулирующих органов на объект регулирования используют часть его энергии, что существенно влияет на их точность и быстродействие. Отличие разработанных нами гидрорегуляторов состоит в том, что они используют энергию регулируемого объекта, которая превращается и усиливается, что увеличивает точность (0,007...0,02 м) и быстродействие регуляторов. По способу воздействия на систему только гидрорегуляторы АРУ (Львовдипроводгосп) и наши разработки могут применяться для регулирования уровней как открытой, так и закрытой сети. Кроме того, гидрорегуляторы водоподачи, дренажного стока и двустороннего действия могут применяться для автоматизации тупикового и проточного дренажа, при этом обеспечивается возможность установки в колодцах, коробах и на выходных оголовках коллекторов.

Конструктивные особенности унифицированных клиновидных запорных органов с резиновой рабочей камерой позволяют осуществлять эффективное регулирование без переоборудования водовыпускных труб колодцев. Он имеет лучшие показатели относительно заиливания и ржавления материалов, поскольку может быть изготовлен из пластмассы.

Как известно, эффективное водорегулирование должно учитывать влияние критических осадков в процесс увлажнения, поэтому нами предложено устройство (осадкомер), которое в автоматиче-

ском режиме переключает гидрорегулятор из режима увлажнения на режим осушения во избежание избыточного переувлажнения верхнего корнеобитаемого слоя почвы.

23.3.2. Гидравлические регуляторы для водорегулирования на проточной сети. Средства гидравлической автоматизации представляют собой различного типа регуляторы, которые используют энергию перепадов или напоров для автоматической стабилизации уровней, расходов, перепадов, давлений. К средствам гидравлической автоматизации также относят конструкции сооружений, осуществляющих регулирование без применения каких-либо автоматических регуляторов [6].

Для автоматизированного водорегулирования и обеспечения нормальной водоподачи с увлажняющих каналов, на массивах с уклоном не более $i = 0,003$ применяют схему регулирования в нижнем бьефе (рис. 23.2, а), а схему регулирования в верхнем бьефе применяют на массивах с уклоном $i=0,002...0,005$ на почвах различного гранулометрического состава (рис. 23.2, б). На системах с проточной сетью регулирования устанавливают гидрорегуляторы водоподачи, которые обеспечивают подачу воды на увлажнение и дренажного стока, регулируют сток воды из коллекторов с помощью подпора.

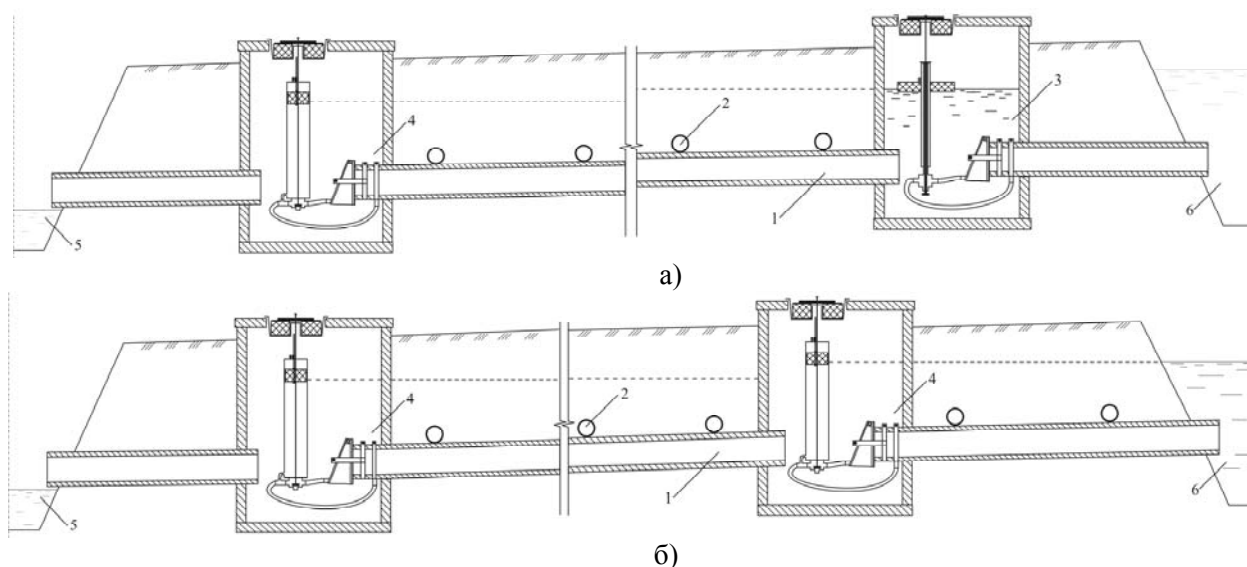


Рис. 23.2. Схемы регулирования РГВ на проточной сети с использованием гидрорегуляторов водоподачи и дренажного стока: а) регулирование с нижнего бьефа; б) регулирование с верхнего бьефа: 1 – коллектор; 2 – дренаж; 3 – регулятор водоподачи; 4 – регулятор дренажного стока, осушительный канал; 6 – увлажняющий канал

Разработанные нами гидрорегуляторы состоят из запорного органа клиновидного типа с эластичной рабочей камерой, чувствительного элемента поплавкового-клапанного типа и осадкомера. Гидрорегулятор дренажного стока (рис. 23.3, а) состоит из запорного органа 1, который изготовлен из прорезиненной ткани и закреплен с помощью кронштейна 2 в водовыпускной трубе. Рабочая камера запорного органа шлангом 3 соединена с клапанной коробкой. Клапан 5 соединен тягой 6 с поплавком 8, который находится в трубе 7. С помощью настроечного механизма 9 поплавков 8 устанавливается на заданный уровень верхнего бьефа. Шланг 4 соединяет рабочую камеру запорного органа с верхним бьефом. В крышке колодца вмонтирован осадкомер 10, в котором размещен поплавок 11, нагруженный грузом 12.

В обычном режиме (подпор) запорный орган 1 закрыт. Когда УГВ поднимается, поплавок 8 всплывает и через тягу 6 открывает клапан 5, вода из рабочей камеры 1 сливается, и отверстие водовыпускной трубы открывается. После снижения УГВ происходит обратный процесс.

Для открытия водовыпускной трубы при выпадении критической нормы осадков в крышке колодца установлен осадкомер 10, после превышения заданного уровня воды в камере осадкомера поплавок 11 всплывает и через тягу 6 открывает клапан 5. При этом вода сливается из рабочей камеры запорного органа, и водовыпускная труба открывается. Регулировка срабатывания осадкомера при установленном количестве осадков осуществляется с помощью груза 12. При испарении воды из камеры осадкомера клапан 5 возвращается в исходное положение.

Для уменьшения затрат на строительство колодца предусмотрена возможность монтажа гидрорегулятора непосредственно на выходных оголовках коллекторов в канале (рис. 23.3, б). Для этого труба 7 закрепляется с помощью креплений 13, а сверху устанавливается осадкомер.

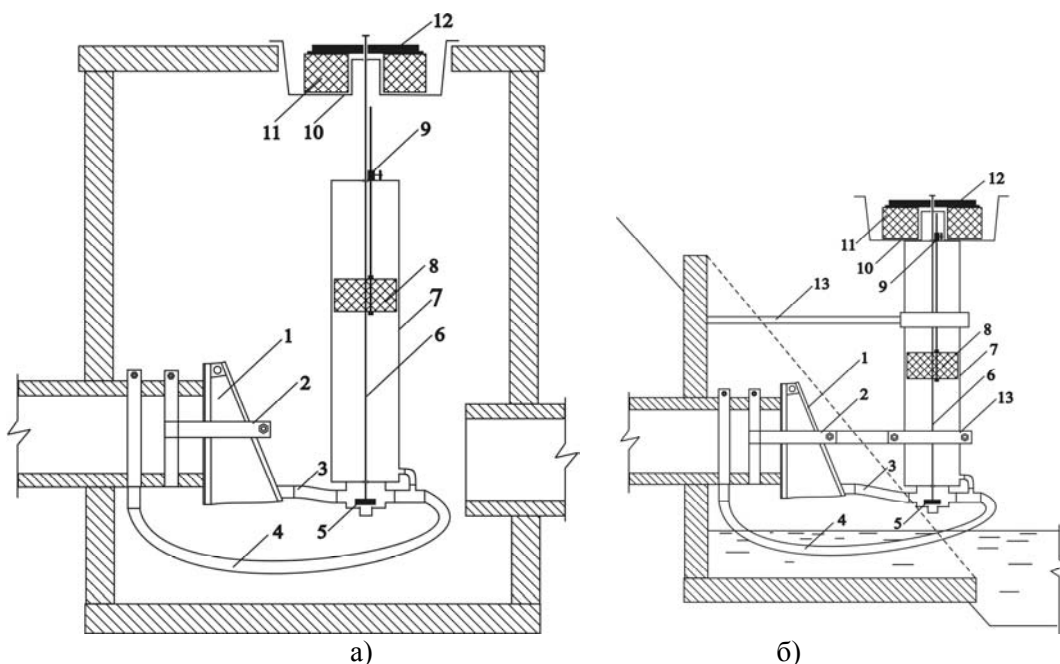


Рис. 23.3. Гидравлический регулятор дренажного стока:

а) в колодце; б) на выходном оголовке коллектора (без колодца): 1 – запорный орган; 2 – кронштейн для крепления запорного органа на водовыпускной трубе; 3 – соединительный шланг; 4 – шланг для соединения рабочей камеры запорного органа с верхним бьефом; 5 – регулирующий клапан; 6 – тяга регулирующего клапана; 7 – труба; 8 – поплавок; 9 – настроечный механизм; 10 – осадкомер; 11 – поплавок осадкомера; 12 – груз для регулировки веса поплавка осадкомера; 13 – крепление трубы 7

Гидрорегулятор водоподачи (рис. 23.4) состоит из запорного органа 1, который закреплен на водовыпускной трубе с помощью кронштейнов 3 и 2. Шланг 4 соединяет верхний и нижний бьефы гидрорегулятора. Клапанная коробка оборудована открывающимся клапаном 6, который закреплен на трубке 7, в середине которой находится тяга 8. На стойке 9 надета труба 10, которая служит для установки поплавка 11 на заданный уровень регулирования. В верхней части трубы 10 к трубке 7 и тяге 8 прикреплен упор 12. В крышке колодца вмонтирован осадкомер 13, поплавок 14 которого соединен с тягой 8. Регулирование всплытия поплавка 14 при заданном количестве осадков происходит с помощью груза 15.

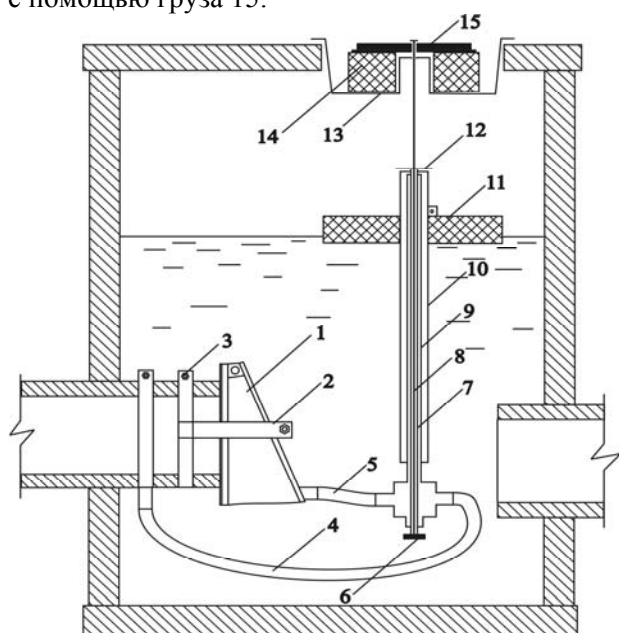


Рис. 23.4. Гидравлический регулятор водоподачи:

1 – запорный орган; 2, 3 – кронштейны крепления запорного органа; 4 – шланг для соединения рабочей камеры запорного органа с верхним бьефом; 5 – соединительный шланг; 6 – регулировочный клапан; 7 – труба; 8 – тяга регулирующего клапана; 9 – стойка; 10 – труба крепления поплавка; 11 – поплавок; 12 – упор; 13 – осадкомер; 14 – поплавок осадкомера; 15 – груз для регулирования веса поплавка осадкомера

При регулировании водоподачи уровень воды в канале выше уставки поплавка 11, поэтому клапан 6 закрыт и запорный орган 1 перекрывает отверстие водовыпускной трубы. Когда уровень воды в колодце снижается, поплавок 11 опускается, освобождая упор 12, что вызывает открытие клапана 6. Равновесие системы нарушается, вода вытесняется из полости запорного органа, что приводит к открытию водовыпускной трубы. Этот режим действует до наполнения колодца, после чего

процесс повторяется снова. При выпадении установленной величины критических осадков срабатывает осадкомер 13.

23.3.3. Гидравлические регуляторы водорегулирования на тупиковых, отдельно размещенных сетях и на открытых каналах. На массивах, где невозможно обеспечить строительство проточной сети, строят тупиковые ветви, на которые устанавливаются регуляторы двустороннего действия. Они обеспечивают регулирование уровня в двух режимах (увлажнение и осушение), а также осуществляют автоматическое переключение между ними (рис. 23.5).

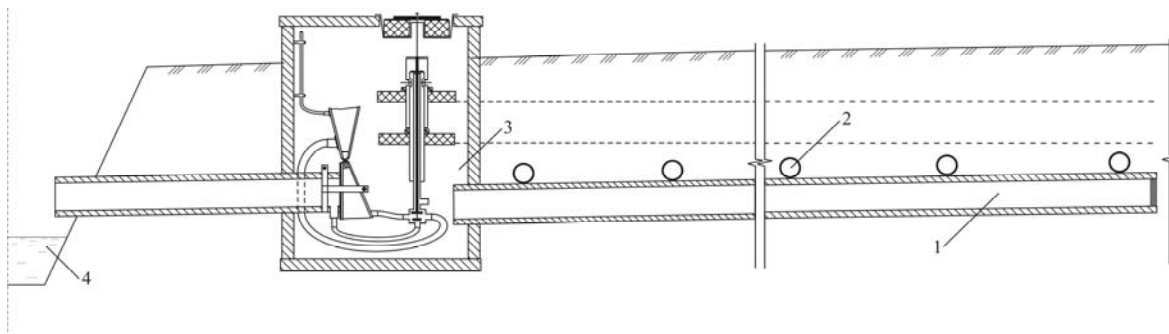


Рис. 23.5. Схема регулятора УГВ на тупиковой сети с использованием гидрорегулятора двустороннего действия:

1 – коллектор; 2 – дренаж; 3 – гидрорегулятор двустороннего действия; 4 – осушительно-увлажнительный канал

На рисунке 23.6 изображена схема гидрорегулятора двустороннего действия, который устанавливается в регулирующем колодце 1 на водовыпускной трубе 2, на которой смонтирован запорный орган 3 с усиливающей камерой 9. Чувствительный элемент 4 состоит из двухклапанной коробки 13, вертикального стояка 23, телескопических трубок 21 и 22, двух поплавков 25 и 26 и осадкомера 28 [23, 27].

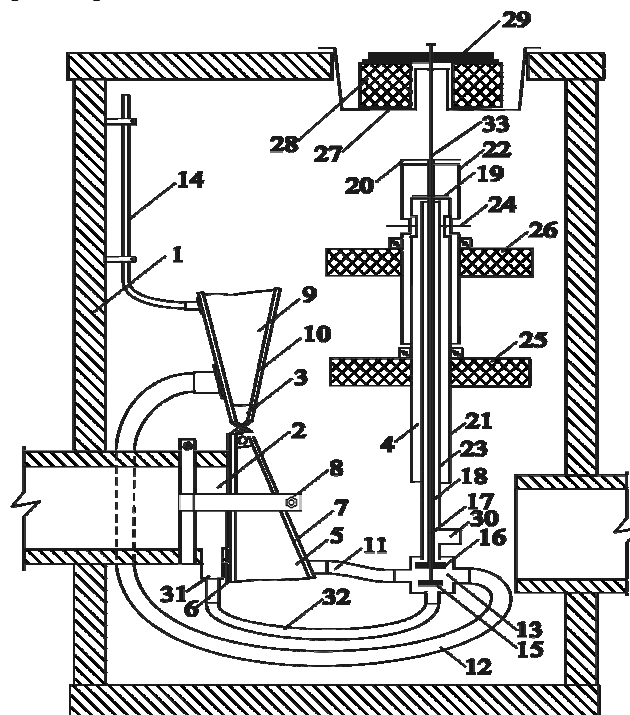


Рис. 23.6. Гидрорегулятор двустороннего действия:

1 – регулирующий колодец; 2 – водовыпускная труба; 3 – запорный орган; 4 – чувствительный элемент; 5 – рабочая камера запорного органа; 6, 7 – подвижная и неподвижная пластины запорного органа; 8 – кронштейны для крепления запорного органа; 9 – усиливающая камера; 10 – подвижная пластина усиливающей камеры; 11 – соединительный шланг; 12 – шланг для соединения камеры 9 с клапанной коробкой; 13 – клапанная коробка; 14 – аэрационная трубка; 15, 16 – регулировочные клапаны; 17, 18 – тяги клапанов; 19, 20 – упоры; 21, 22 – трубы для установки поплавков; 23 – стойка; 24 – упор для удержания телескопических трубок и поплавков; 25, 26 – поплавки для установления уровня дренирования и шлюзования; 27 – осадкомер – поплавок осадкомера; 29 – груз поплавка осадкомера; 30 – соединительный патрубок; 31 – патрубок для закрепления соединительного шланга; 32 – соединительный шланг рабочей камеры 5 с водовыпускной трубой; 33 – тяга поплавка осадкомера

В начальный период вегетации и в послепаводковые периоды гидрорегулятор работает в режиме задержки дренажного стока. Уровень воды в канале при этом ниже отметки уставки поплавка 25. Клапан 15 под действием собственного веса перекрывает патрубок шланга 32, а клапан 16 открыт. При наличии дренажного стока вода поступает через патрубок 30 в полость камеры 5, которая рабочей пластиной 6 прикрывает водовыпускную трубу 2 и, по мере повышения уровня в колодце, вода прижимает ее к водовыпускной трубе и через шланг 12 заходит в полость усиливающей камеры 9, герметизируя систему. При превышении регулируемого уровня уставки поплавка 25 он всплывает, поднимает трубку 21 и упор 19 открывая клапан 15. Открытие клапана 15 приводит к сливанию воды

из камер 5 и 9, но диаметр шланга 12 больше диаметра шланга 11, так вытекание воды из камеры 9 проходит значительно быстрее, чем с камеры 5. Это приводит к возникновению разницы внешнего давления воды в колодце и внутреннего в камере 9, и образуется момент, который стремится открыть запорный орган 3. В результате происходит перемещение пластин 10 и 6 и открытие водовыпускной трубы. При снижении уровня в колодце клапан 15 закрывается, и процесс повторяется в обратном порядке. Таким образом в колодце поддерживается уровень, заданный отметкой уставки поплавка 25.

В режиме шлюзования в канале создается напор выше отметки поплавка 26. Поскольку клапан 16 при этом открыт, то под действием гидростатического давления со стороны канала вода вытесняется из полости камер 5 и 9, вследствие этого водовыпускная труба 2 открывается. Уровень в колодце продолжает расти, поплавок 25 всплывает и открывает клапан 15, но, поскольку клапан 16 открыт, то водовыпускная труба 2 остается открытой. Это обусловлено тем, что в данном режиме гидравлическое сопротивление канала – местное гидравлическое сопротивление 31 и шланга 32 – больше, чем сопротивление патрубка 30. При достижении уровнем отметки поплавка 26 последний всплывает, поднимает трубу 22, упор 20 и клапан 16 закрывается, это приводит к заполнению камер 5 и 9 и закрытию водовыпускной трубы 2. При снижении уровня поплавков 26 опускается, клапан 16 открывается, вода вытесняется из камер 5 и 9 и водовыпускная труба открывается. Таким образом обеспечивается поддержка заданного значения уровня воды в колодце в режиме увлажнения.

При работе гидрорегулятора в обоих режимах его конструкция обеспечивает открытие водовыпускной трубы при выпадении критической нормы осадков. При этом поплавок 28 осадкомера 27 всплывает и тяга 33 поднимает упоры 19 и 20, обеспечивая открытие клапана 15 и закрытие 16. В результате происходит сливание воды из камеры 5 и 9 и водовыпускная труба открывается. В режиме дренажного стока обеспечивается снижение УГВ за счет стока воды в канал, в режиме шлюзования происходит аналогичный процесс, но уровень в канале выше уровня в колодце, поэтому для снижения УГВ необходимо остановить увлажнение и снизить уровень в канале. Закрытие водовыпускной трубы происходит только после испарения воды из камеры осадкомера.

Для увеличения производительности работы осушительно-увлажнительной сети иногда проектируют системы с отдельно расположенной осушительной и увлажнительной частью [34]. Такие системы позволяют эффективно проводить как увлажнение, так и осушение. В них вода для увлажнения подается с подводного канала через колодцы-регуляторы (установленные в верхней части дренажной системы) в закрытые увлажняющие коллекторы, а оттуда в дрены, которые выполняют функцию осушителей и увлажнителей. При этом в коллекторах создается подпор воды с помощью гидравлических регуляторов дренажного стока, которые установлены в нижних колодцах (рис. 23.7, а). В периоды с избыточной влажностью почвы верхние колодцы-регуляторы с гидрорегуляторами водоподдачи перекрываются, а нижние, с гидрорегуляторами дренажного стока, открываются, и вода из дренажной сети свободно вытекает в открытые каналы (рис. 23.7, б).

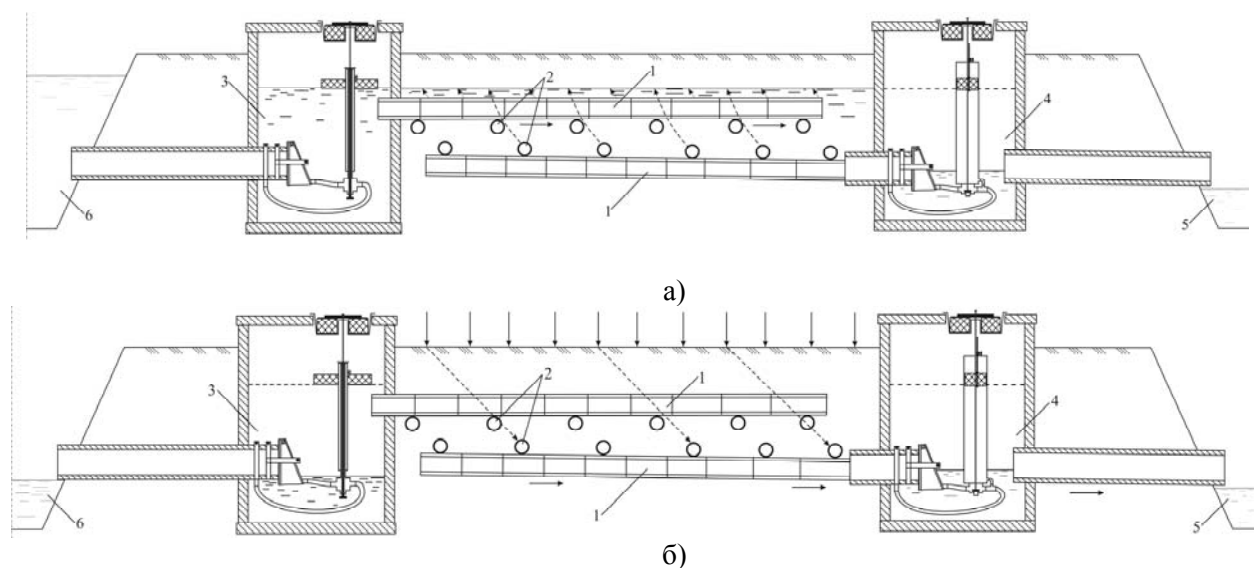


Рис. 23.7. Схема коллекторно-дренажной сети с отдельным размещением дрен с установленными гидрорегуляторами:

а) режим увлажнения; б) режим осушения: 1 – коллектор; 2 – дренаж; 3 – регулятор водоподдачи; 4 – регулятор дренажного стока; 5 – осушительный канал; 6 – увлажнительный канал

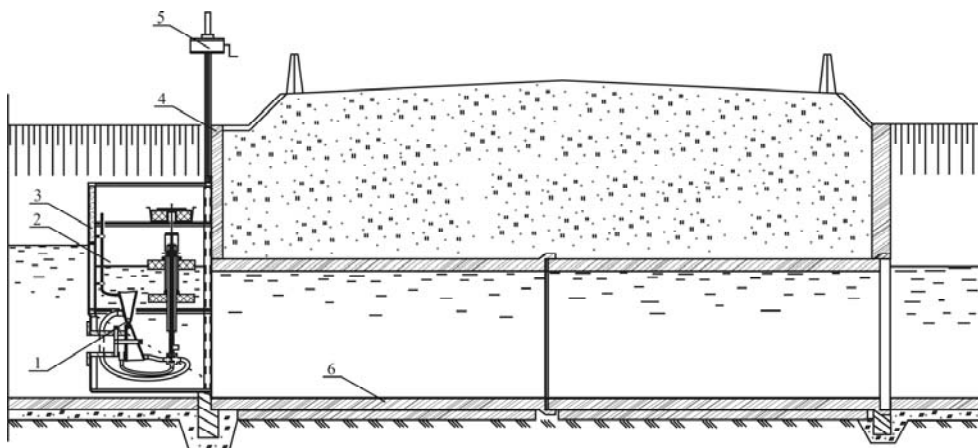


Рис. 23.8. Шлюз регулятор трубчатый с коробчатым затвором с установленным гидрорегулятором двустороннего действия:

1 – гидрорегулятор двустороннего действия; 2 – коробчатый затвор; 3 – водослив; 4 – железобетонная стенка; 5 – подъемник; 6 – железобетонная труба

Как известно, современные ОУС требуют комплексного подхода к автоматизации, поэтому существует потребность в обеспечении автоматическими средствами всей цепочки водорегулирования от главного водозаборного сооружения к сооружениям на открытой и закрытой сети. Использование однотипных унифицированных устройств значительно улучшит эксплуатационные показатели, снизит затраты и повысит эффективность регулирования водно-воздушного режима почвы в целом. Поэтому нами предлагается использование гидрорегуляторов закрытой сети для регулирования уровня воды в открытых каналах. Для этого на гидротехнических сооружениях используются реконструированные коробчатые затворы ЗК-1,3-1,0 и ЗК-1,8-1,0 и шлюзы-регуляторы типа РТК-80 и РТК-100. На рисунке 23.8 представлена схема установки гидрорегулятора двустороннего действия в реконструированный коробчатый затвор. Запорный орган гидрорегулятора закрепляется на передней стенке затвора на предварительно установленную в вырезанное отверстие трубу. Чувствительный орган и поплавковый осадкомер закрепляются с помощью кронштейнов. Для увеличения пропускной способности через регулирующее сооружение возможна установка двух гидрорегуляторов в один затвор [12, 21].

Все гидрорегуляторы имеют средства настройки, позволяющие легко изменять уставки регулируемых уровней с помощью изменения положения поплавков, что позволяет осуществлять оперативное регулирование УГВ, а также задавать регулируемые уровни в открытых каналах. Установка гидрорегуляторов в регулирующие колодцы осуществляется с помощью кронштейнов или растяжек и не требует их переоборудования, а монтаж в коробчатые затворы шлюзов-регуляторов технологически несложный и может быть выполнен в эксплуатационном учреждении.

Следует отметить, что применение гидравлической автоматизации на ОУС позволяет повысить качество строительства и технический уровень эксплуатации мелиоративных систем. Конструктивно гидрорегуляторы имеют небольшое количество элементов, что улучшает их надежность, а также при их изготовлении используется минимальное количество металлических деталей. Кроме того, все они оборудованы одинаковыми унифицированными запорными органами, что позволяет уменьшить затраты на их изготовление и эксплуатацию. В межвегетационный период или при необходимости очистки гидротехнических сооружений гидрорегуляторы демонтируются и хранятся в складских помещениях.

23.3.4. Обоснование конструктивных параметров гидравлических регуляторов. Конструктивные параметры разработанных гидрорегуляторов должны удовлетворять условиям регулирующей сети, а также работать с обеспечением безотказной работы в течение всего периода эксплуатации. Для этого нужно выполнить расчеты соответствующих параметров, цель которых – определить рациональные параметры конструктивных элементов гидрорегуляторов с учетом запаса прочности всей конструкции не менее чем на 125 %. Расчет элементов гидрорегуляторов осуществляется в соответствии с разработанными нами методиками [23, 26].

Основным конструктивным элементом гидрорегуляторов является запорный орган, поэтому в первую очередь важно обосновать его геометрические размеры, которые определяются из уравнения гидростатического равновесия моментов сил, действующих на него в закрытом положении. Для этого используют схему распределения сил, действующих на элементы запорного органа в закрытом и открытом положениях (рис. 23.9).

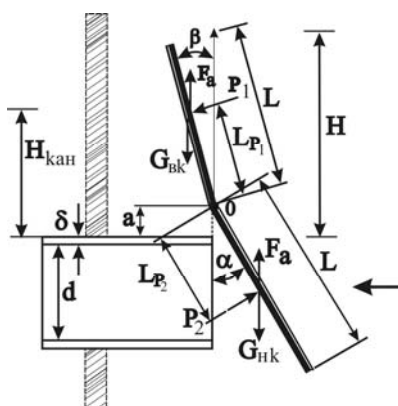


Рис. 23.9. Схема распределения сил, действующих на запорный орган

Предложенный подход к расчету конструктивных параметров запорных органов позволяет обеспечить надежную работу гидрорегуляторов для качественного и эффективного водорегулирования. Для выполнения таких задач необходимо обеспечивать надежное закрытие/открытие запорных органов с соответствующим запасом прочности (не менее 25 %) при наиболее неблагоприятных значениях регулируемых уровней. Результаты расчета конструктивных параметров запорных органов с использованием ПК представлены в таблице 23.1.

Таблица 23.1

Основные конструктивные параметры запорных органов гидрорегуляторов

Тип гидрорегулятора	Внутренний диаметр водовыпускной трубы d , м	Длина запорного органа L , м	Ширина запорного органа B , м	Толщина стенок водовыпускной трубы δ , м	Расстояние от шарнира до водовыпускной трубы a , м
Дренажного стока	0,15	0,25	0,265	0,0075	0,015
	0,2	0,27	0,32	0,01	0,02
	0,25	0,3	0,375	0,0125	0,025
	0,3	0,36	0,43	0,015	0,03
Водоподачи	0,15	0,25	0,265	0,0075	0,015
	0,2	0,27	0,32	0,01	0,02
	0,25	0,3	0,375	0,0125	0,025
	0,3	0,36	0,43	0,015	0,03
Двухстороннего действия	0,15	0,2	0,265	0,0075	0,015
	0,2	0,24	0,32	0,01	0,02
	0,25	0,3	0,375	0,0125	0,025
	0,3	0,36	0,43	0,015	0,03

Расчет поплавковых систем гидрорегуляторов позволяет определить их геометрические размеры, а также другие составляющие конструкции чувствительных элементов. При этом необходимо обеспечить выполнение условия открытия/закрытия соответствующего клапана при достижении установленного уровня. Кроме того, нужно обеспечить надежное закрывание/открывание патрубков клапанной коробки, с учетом веса поплавков и других составляющих конструкций. Причем система клапанов и других элементов гидрорегулятора двустороннего действия является сложной, поэтому его расчет служит основой для расчета других гидрорегуляторов.

Стоит заметить, что определение рациональных значений параметров гидравлических регуляторов возможно только на основе построения схем распределения гидростатических сил и выполнения условий пребывания подвижных пластин запорных органов, клапанов и других элементов в соответствующих положениях при обеспечении установленного запаса прочности.

23.4. Экспериментальные исследования средств гидравлической автоматизации

Лабораторные исследования гидравлических регуляторов проводились в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений (НУВХП) на большом зеркальном лотке с использованием соответствующих измерительных устройств и методик. Исследования спланированы таким образом, чтобы проверить принципы, на основе которых создавались гидрорегуляторы, и определить их дееспособность при отработке соответствующих способов и режимов водорегулирования, а также установить характер связи между коэффициентом расхода μ , площадью поперечного сечения потока ω и расходом воды Q , которая проходит через запорные органы гидрорегуляторов, что позволит опреде-

лить максимальный и минимальный расход воды [16]. Проведение лабораторных исследований осуществлялось с использованием активного метода, который применяется для объектов, не находящихся в непосредственной эксплуатации и могущих воспринимать существенные воздействия. Такой подход дает возможность провести наиболее полное исследование, при этом на вход исследуемого объекта подается один из типичных входных сигналов [8].

Опытные образцы гидрорегуляторов изготовлены по конструктивным характеристикам для условий реальной осушительно-увлажнительной сети, поэтому при обработке результатов лабораторных исследований нет необходимости применять критерии подобия. Такой подход дал возможность подробно исследовать работу гидрорегуляторов с необходимой повторяемостью опытов и вариативностью исследуемых характеристик, что подтверждено высокой точностью и качеством регулирования.

Исследование гидрорегуляторов в статическом режиме является одним из важных этапов. Эти исследования осуществляют с помощью статических характеристик, которые представляют собой зависимость управляемого параметра (уровень воды) H от управляющего воздействия (расход) Q в установившемся режиме, что позволяет определить диапазон изменения регулируемых уровней и оценить точность регулирования с помощью абсолютной и относительной погрешностей. В результате исследования гидрорегуляторов в статическом режиме получены статические погрешности системы регулирования по абсолютной ΔH и относительной β погрешностям (табл. 23.2).

Таблица 23.2

Значение абсолютной и относительной погрешностей для исследуемых гидрорегуляторов

Тип гидрорегулятора	Абсолютная погрешность, м	Относительная погрешность, %
Дренажного стока	0,0147	3,55
Водоподачи	0,0122	3,01
Двухстороннего действия в режиме дренирования	0,021	3,34
Двухстороннего действия в режиме водоподачи	0,0077	1,92

Исследование гидрорегуляторов в динамическом режиме осуществляется с помощью переходных характеристик, что позволяет исследовать качественные показатели системы регулирования (гидрорегулятор – колодец). В процессе исследований в колодце с гидрорегулятором устанавливается уровень, который соответствует $H_{зад}$, относится к диапазону регулирования $H_{min} \leq H_{зад} \leq H_{max}$ и определяется из статических характеристик. После этого создают ступенчатое входное воздействие в виде быстрого изменения положения чувствительного элемента на величину большую, чем случайные неконтролируемые возмущения, то есть не больше максимального регулируемого уровня H_{max} . Эксперимент проводится в два этапа: на первом значение ступенчатого воздействия изменяется от 0 до $H_{зад}$, а на втором – от $H_{1зад}$ к $H_{2зад}$.

По переходным характеристикам установлено, что процесс регулирования имеет нелинейный характер, поскольку они не соответствуют условиям линейности, суть которых заключается в том, что при изменении внешних возмущающих воздействия на систему в n раз характер переходного процесса не должен меняться, а меняться только масштаб исходной величины в n раз. Несмотря на это, при небольших диапазонах изменения уровня характеристики гидрорегуляторов могут считаться линейными или несущественно нелинейным. Качество регулирования системы существенно влияет на ее управляемость и оценивается по показателям: характер (вид) процесса, перерегулирование и продолжительность. Для рассмотренных гидрорегуляторов вид переходного процесса имеет колебательный характер, лишь у регулятора дренажного стока переходный процесс имеет монотонный характер.

Продолжительность (быстродействие) переходного процесса t_n определяется временем, за которое отклонение Δh от заданного значения станет меньше величины $\varepsilon = 3 \div 5\%$, которая определяет ширину зоны допустимых отклонений, потому что теоретически продолжительность переходного процесса стремится к бесконечности ($t_n = \infty$). Значение t_n в зависимости от типа гидрорегулятора и входного сигнала приведены в таблице 23.3.

Таблица 25.3

Быстродействие исследуемых гидрорегуляторов

Тип гидрорегулятора	Быстродействие t_n при $h=0 \div H_{зад}$, хв		Быстродействие t_n при $h=H_{1зад} \div H_{2зад}$, хв	
	min	max	min	max
Дренажного стока	15	20	11	22
Водоподачи	6	8,3	0,85	3
Двухстороннего действия в режиме водоподачи	13,5	17	12	22,5
Двухстороннего действия в режиме дренирования	6	10,3	0,85	2,5

Таблица 23.4

**Обобщенные результаты исследований УГВ при выращивании
кормовой свеклы и картофеля в 2004 г., обеспеченность осадками $p = 65\%$**

Дата измерения	Режим регулирования	Рекомендованные \bar{H} для корм. свеклы и картофеля, м	УГВ на участках с руч. регулированием, м	УГВ на участках с авт. регулированием, м	Заданный уровень гидрорегуляторами, м	Прирост урожайности, ц/га	
10.03.04	Осушение	-	1,29	1,29	1,243	Картофель - 29, кормовая свекла - 90	
20.03.04		-	0,77	0,77	0,821		
30.03.04		-	0,65	0,68	0,748		
10.04.04	Предупредительное шлюзование	0,6	0,71	0,6	0,684		
20.04.04		0,65	1,28	0,683	0,689		
30.04.04		0,7	1,21	0,716	0,744		
10.05.04		0,75	1,21	0,72	0,771		
20.05.04	Увлаж. шлюзование	0,8	1,25	0,815	0,766		
30.05.04		Циклич.	0,8	1,23	0,766		0,572
10.06.04			0,8	1,22	0,848		0,804
20.06.04		Непрерывное	0,85	1,22	0,865		0,86
30.06.04			0,9	1,23	0,931		0,865
10.07.04			0,95	1,27	0,926		0,898
20.07.04			1	1,29	0,948		0,92
30.07.04		1	1,3	0,964	0,931		
10.08.04	Циклич.	1	1,38	0,92	0,662		
20.08.04		1	1,41	0,98	0,938		
30.08.04	Осушение	1	0,46	0,88	1,138		
10.09.04		1	0,52	1	1,132		
20.09.04		1	1,2	1,03	1,2		
30.09.04	Осушение	1	1,22	1,052	1,234		
10.10.04		-	1,23	1,04	1,245		
20.10.04		-	1,25	1,063	1,273		
30.10.04		-	1,27	1,074	1,273		

Таблица 23.5

**Обобщенные результаты исследований УГВ при выращивании
многолетних трав в 2004 г., обеспеченность осадками $p = 65\%$**

Дата измерения	Режим регулирования	Рекомендованные \bar{H} для многолетних трав, м	УГВ на участках с руч. регулированием, м	УГВ на участках с авт. регулированием, м	Заданный уровень гидрорегуляторами, м	Прирост урожайности, ц/га
10.03.04	Осушение	-	1,29	1,29	1,379	10
20.03.04		-	0,77	0,77	0,791	
30.03.04		-	0,65	0,68	0,605	
10.04.04	Цикл. увлажнение	0,55	0,71	0,6	0,531	
20.04.04		0,55	1,28	0,58	0,556	
30.04.04		0,55	1,21	0,55	0,394	
10.05.04		0,55	1,21	0,567	0,593	
20.05.04	Непрерывное увлажнение	0,6	1,25	0,58	0,554	
30.05.04		0,6	1,23	0,6	0,571	
10.06.04	Цикл. увлажнение	0,6	1,22	0,62	0,428	
20.06.04		0,65	1,22	0,65	0,689	
30.06.04	Непрерывное увлажнение	0,7	1,23	0,72	0,68	
10.07.04		0,75	1,27	0,74	0,74	
20.07.04		0,8	1,29	0,82	0,84	
30.07.04		0,85	1,3	0,74	0,831	
10.08.04		0,9	1,38	0,86	0,932	
20.08.04		0,95	1,41	0,98	0,938	
30.08.04		1	0,46	0,92	0,927	
10.09.04		Предупредительное шлюзование	1	0,52	1	1,293
20.09.04	1		1,2	1,05	1,433	
30.09.04	1		1,22	1,1	1,49	
10.10.04	-		1,23	1,1	1,514	
20.10.04	-		1,25	1,12	1,524	
30.10.04	-		1,27	1,14	1,543	

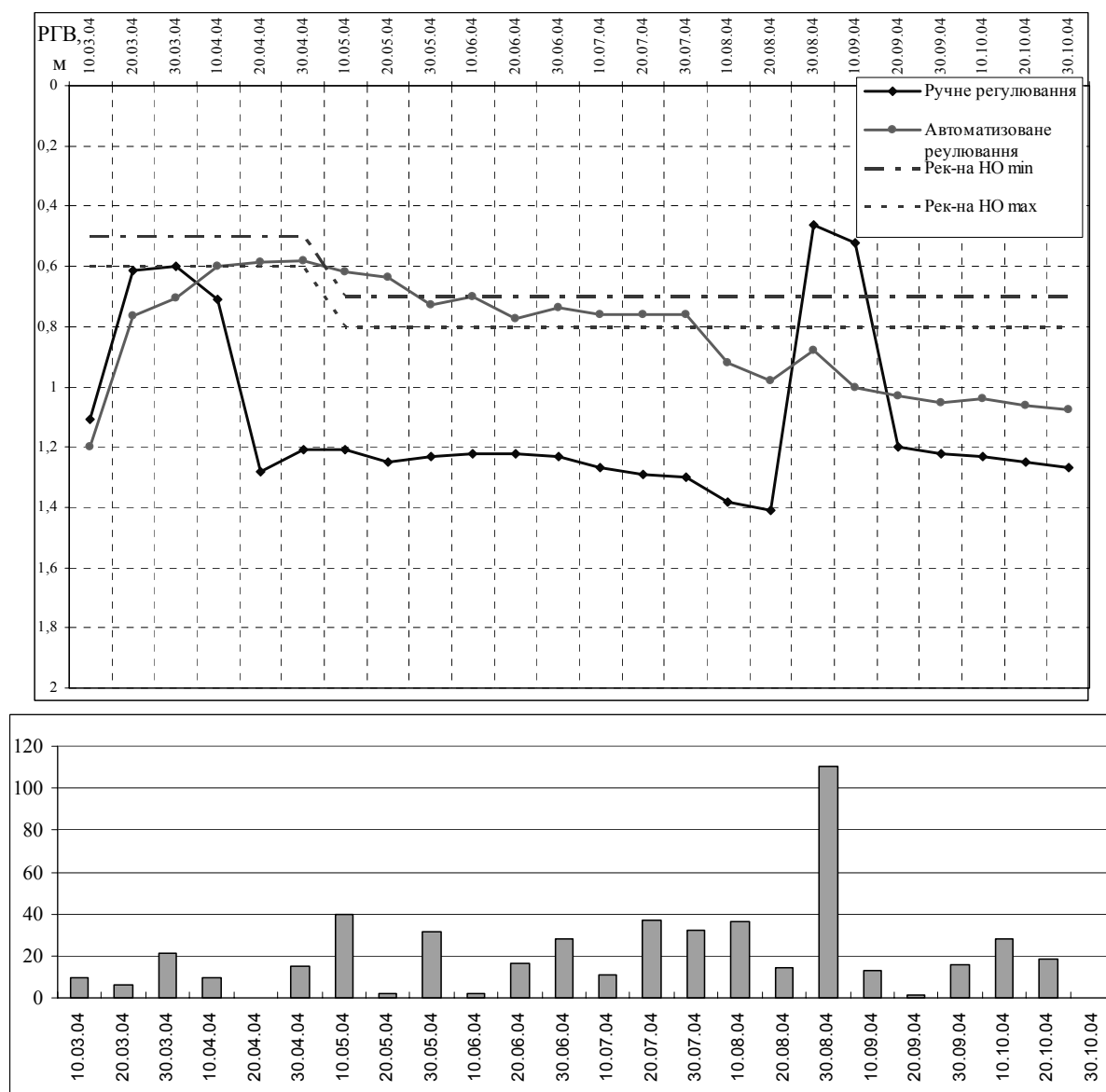


Рис. 23.11. Динамика изменения УГВ и осадков за вегетационный период 2004 г. на опытном участке при выращивании кормовой свеклы и картофеля

23.5. Расчет параметров регулирования и моделирование взаимодействия гидравлических регуляторов с регулирующей сетью

23.5.1. Совершенствование метода расчета параметров регулирования. Как известно, различные виды растений существенно отличаются тем, как на них влияют внешние факторы, особенно в зоне роста корневой системы. Система «почва – растение» постоянно меняется, поэтому для оценки влияния условий внешней среды на их рост и развитие необходимо выявить взаимосвязь этих факторов в течение всего вегетационного периода. Одним из таких параметров, который может влиять на эту связь, является положение уровней грунтовых вод. Хотя УГВ прямо не влияет на развитие растений, от него зависит влажность почвы, а также его аэрация и температура. Влияние УГВ на верхний слой почвы подробно исследовали С. Ф. Аверьянов, А. И. Мурашко, Б. С. Маслов, А. И. Ивицкий, Ш. И. Брусиловский, Ц. Н. Шкиннис, В. А. Ионат, А. В. Мясков, Д. Ф. Шульгин, Г. П. Белова, А. Я. Олейник, В. Л. Поляков и др. [1, 9, 10, 17, 18, 39 и др.].

Уровень развития современной науки, включая область гидродинамической теории фильтрации, не позволяет исчерпывающе описывать законы движения воды и выводить четкую методику расчета и рекомендации инженерного обоснования параметров осушительно-увлажнительного дренажа. В частности потому, что на структуру и протяженность фильтрационного потока влияют многие факторы. Можно считать, что гидравлический характер движения грунтовых вод на фоне дренажа сохраняется в многослойных грунтах при определенных соотношениях коэффициентов фильтрации разных слоев [20].

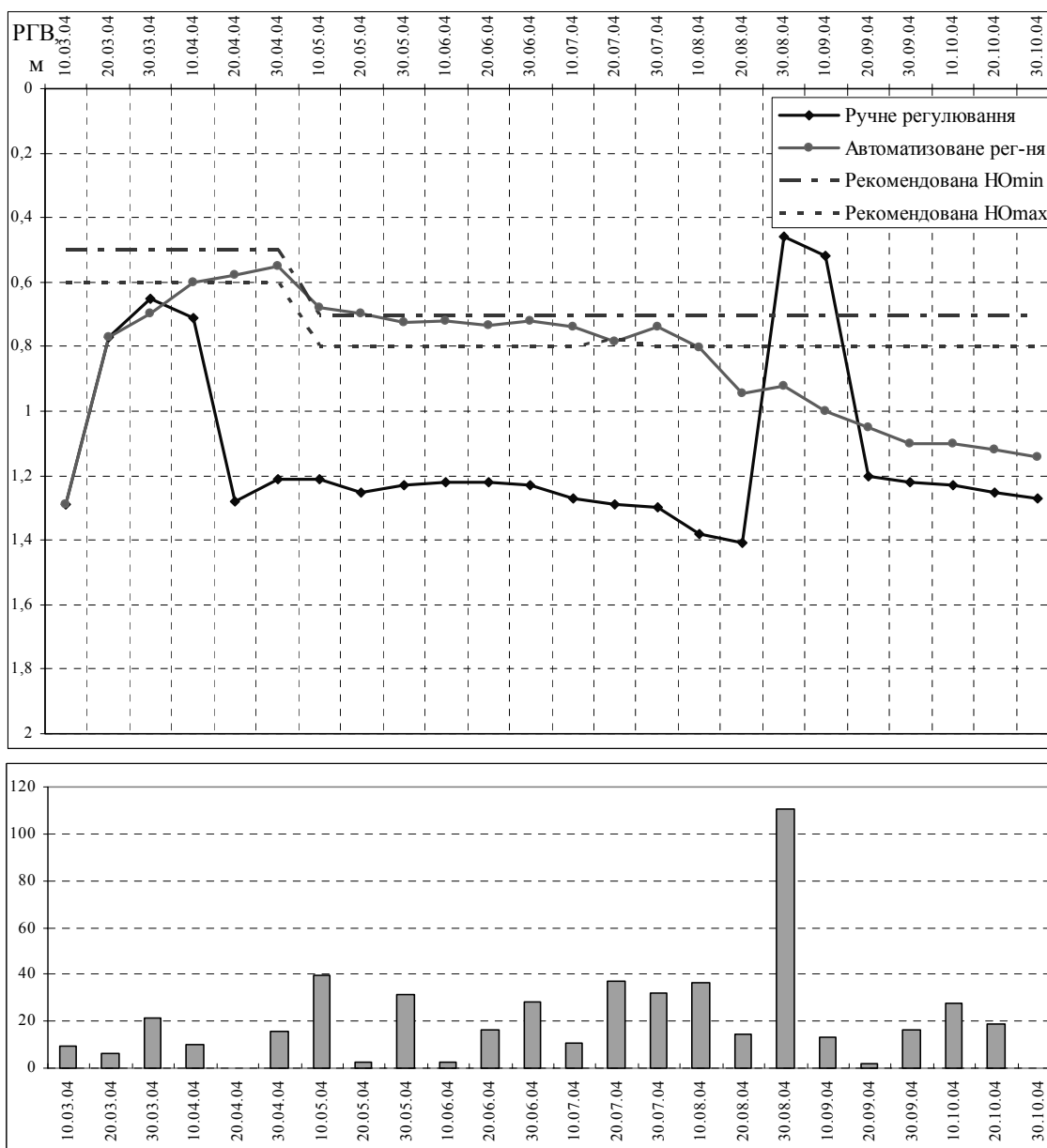


Рис. 23.12. Динамика изменения УГВ и осадков за вегетационный период 2004 г. на опытном участке при выращивании многолетних трав

В придренинной зоне линии течения значительно искривляются, резко отклоняясь от горизонтального направления, что обуславливает необходимость использовать гидродинамическую модель [1]. Исследования, проведенные С. В. Васильевым, М. В. Веригиным, Б. А. Глейзером, В. М. Шестаковым [18, 19], доказали, что нестационарность потока УГВ проявляется в основном на определенном расстоянии от дрены, а в придренинной зоне поток близок к стационарному.

Таким образом, фильтрационный процесс у дрены может быть описан стационарными гидродинамическими моделями, в которых напор зависит от времени. А. Я. Олейник и В. М. Шестаков доказали, что внутреннее стационарное гидродинамическое решение этих моделей и внешнее нестационарное могут быть связаны с помощью установки на дрене специального граничного условия третьего рода, которое содержит фильтрационное сопротивление Φ [18].

Точность теоретических расчетов параметров дренажа определяется, во-первых, степенью адекватности исходной математической модели, то есть реальностью фильтрационного процесса, который описывается ею, во-вторых, качеством полученных аналитических решений. Последнее прямо зависит от того, насколько удачно выбраны и используются приемы упрощения и методы решения. Для задачи осушительно-увлажнительного дренажа наиболее действенным средством упрощения моделей является их линеаризация. При проектировании мелиоративных систем точные методы не получили широкого применения из-за большой сложности. Поэтому в последнее время используются приближенные методы расчета параметров дренажа. Практика показывает, что при определённой

точности расчетов такие методы соответствуют реальным моделям гидродинамики УГВ дренажных систем.

Большинство теоретических исследований, посвященных изучению закономерности движения грунтовых вод на фоне систематического дренажа, относятся к схемам с дренажем, который размещен в однородном грунте или в верхнем слое неоднородной слоистой структуры. Однако значительная часть почв гумидной зоны состоит из слабопроницаемых минеральных почв, которые в пределах метровой толщины состоят из двух, трех и более слоев, что значительно усложняет математическую модель. К тому же физические свойства маломощного верхнего слоя заметно отличаются от аналогичных свойств ниже залегающих слоев. Если учесть, что дрена закладывается на глубину не менее 1 м, то очевидно, что свободная поверхность при осушении или увлажнении верхнего слоя почвы будет пересекать границу между слоями, по крайней мере, один раз. А в случае развитой шаровой структуры почвы поток грунтовых вод имеет еще более сложное строение, в результате этого модель значительно усложняется.

Итак, исходя из изложенных положений для моделирования движения УГВ необходимо использовать математические модели, которые бы учитывали перечисленные факторы, а также были бы практическими при инженерных расчетах. Из всех существующих моделей наиболее адекватной для наших условий является математическая модель динамики УГВ в многослойных почвах, которая разработана А. Я. Олейником и В. Л. Поляковым [20]. В этой модели исходная система дифференциальных уравнений описывает положение свободной поверхности (кривой депрессии) многослойной водоносной толщи, в которой количество уравнений зависит от ее размещения в общей толще почвы. Уравнение для участка свободной поверхности, размещенной в пределах i -го слоя, основывается на законе Дарси, исходя из баланса массы воды в элементарном столбце грунта со сторонами Δx , L , полностью пронизывает водоносную толщу почвы и пересекает свободную поверхность в i -м слое (рис. 23.13).

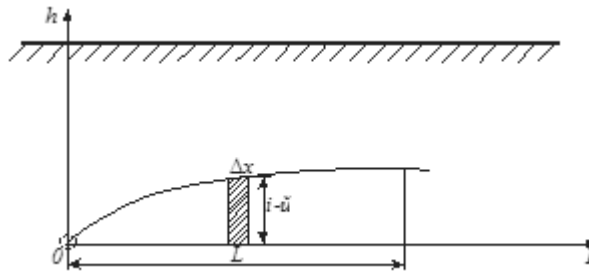


Рис. 23.13. Физическая модель системы

Оптимальный режим увлажнения должен обеспечивать повышение УГВ между дренами в кратчайшие сроки, а также стабильность УГВ по всей длине коллекторов и учитывать влияние внешних факторов (осадков). Структура многослойной грунтовой толщи и динамика изменения УГВ показано на рисунке 23.14.

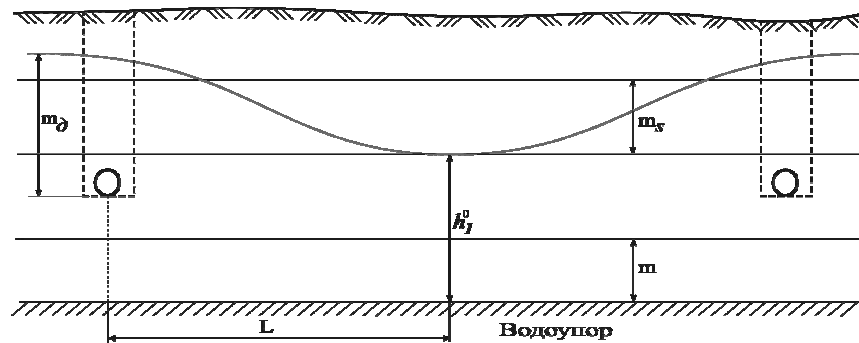


Рис. 23.14. Схема подпочвенного увлажнения в многослойном грунте

Математическая модель динамики УГВ при подпочвенном увлажнении для многослойной структуры описывается уравнением [1917]

$$\frac{\partial^2 V_i}{\partial x^2} = \mu_{i+1} \frac{\partial h_i}{\partial t}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (23.1)$$

где $V_i = \frac{k_{i+1}}{2} h_i^2 + \alpha_{i+1} h_i$;

h_i – уровень грунтовых вод в пределах i -го слоя, м;

k_{i+1} – коэффициент фильтрации $i+1$ слоя, м/сут.;

μ_{i+1} – коэффициент средней суммарной нехватки насыщения $i+1$ слоя;

α_{i+1} – вспомогательный параметр, выраженный через коэффициенты фильтрации и мощность $i+1$ слоя и ниже залегающих слоев.

В начальный момент времени для дренажной засыпки уравнения (23.1) рассматривается с граничным условием третьего рода, однако в процессе увлажнения она трансформируется в граничное условие первого рода. На водоразделе между дренами имеем граничное условие второго рода

$$\frac{\partial h(L,t)}{\partial x} = 0.$$

Исходя из технологических соображений, на напор в дренажной сети и распределение УГВ мы предлагаем ввести ограничение $H(t) \leq H_1$, которое зависит от параметров регулирующей сети. При регулировании напоров над дренами целесообразно использовать управляющее воздействие релейного вида, при этом максимальный УГВ находится над дренами, поэтому естественным является ограничение $\max h(L,t) = h(0,t) \leq h_1$. Значение h_1 выбирается из условия недопущения подтопления корневой системы растений, и в течение вегетации эта величина может меняться. Ограничения H_1 принимается в соответствии с принятым h_1 . Время поддержания уровня H_1 над дренами ограничено периодом t_1 , величина которого определяется допустимым временем переувлажнения корневой системы

$$t[h(0,t) - H_1] \leq t_1. \quad (23.2)$$

Важным технологическим параметром, который определяет равномерность увлажнения по междрию, является разница УГВ над дренами и на междрии

$$m_\partial - h(L,t) \leq \Delta h. \quad (23.3)$$

В соответствии с нормативными данными в условиях установленной депрессионной кривой максимальное значение этой величины составляет $\Delta h = 0,25 \dots 0,3$ м.

Для технологии увлажняющего шлюзования (циклическое увлажнение) в начальный период, учитывая условие (23.2), над увлажняющими коллекторами гидрорегуляторы поддерживают напор $m_\partial = m_{\partial 1}$. Поднятие УГВ между дренами осуществляется за счет выдержки этого напора на промежутке времени $0 \leq t \leq t_1$. После этого напор понижают до значения $m_{\partial 2}$ в момент времени t_1 и поддерживают на промежутке времени $0 \leq t \leq T$, где T определяют из условия конечной цели (23.3), (рис. 23.15, а). В случае использования непрерывного увлажнения $m_\partial = m_{\partial 1}$ на протяжении всего периода увлажнения (рис. 23.15, б).

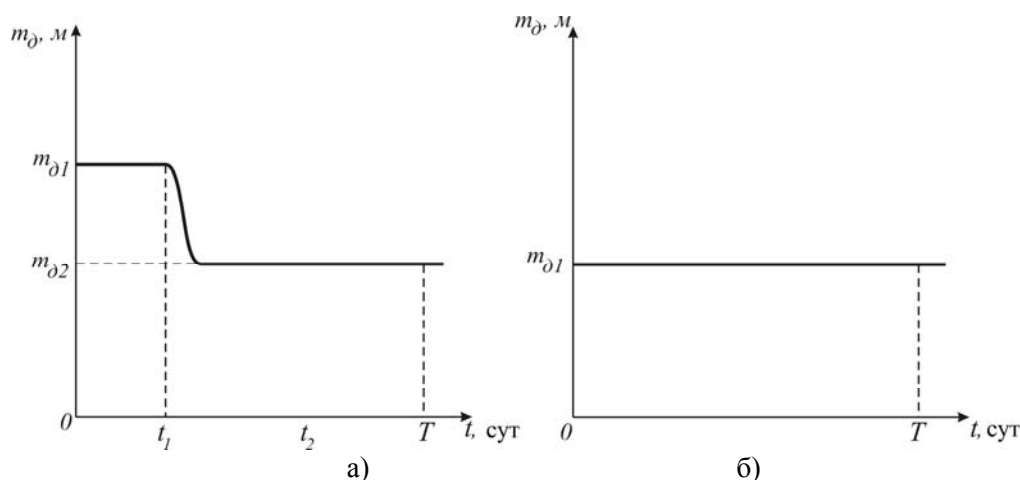


Рис. 23.15. График изменения напора над увлажняющими коллекторами m_∂ , который создается гидрорегуляторами: а) периодическое увлажнение; б) непрерывное увлажнение

Учитывая введенные условия, регулировку уровня при циклическом увлажнении над коллекторами (дренами) осуществляют в последовательности:

$$m_{\partial} = \begin{cases} m_{\partial} = m_{\partial 1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ m_{\partial} = m_{\partial 2}, & t_1 \leq t \leq T. \end{cases} \quad (23.4)$$

Смена УГВ (h_1^0) в междурении определяется по формуле:

$$h_1^0 = \begin{cases} h_{11}^0(t), & 0 \leq t \leq t_1; \\ h_{12}^0(t), & t_1 \leq t \leq T. \end{cases} \quad (23.5)$$

с учетом условий:

$$\begin{cases} h_{11}^0(0) = m; \\ h_{12}^0(t_1) = h_{11}^0(t_1), \end{cases}$$

где m – начальный УГВ, м.

Решение уравнения (23.1) проводится в последовательности, описанной в работе [20], с учетом установленной нами нумерации различных слоев грунтовой толщи: s – номер слоя, в котором находится начальный УГВ между дренами m , отсчитывая от верхнего слоя; p – номер слоя, в котором находится конечное положение УГВ между дренами $h_{кон} = h_1^0(T)$; j – номер слоя, в котором находится начальный УГВ над дренами m_{∂} [15, 27].

Расчет вспомогательного параметра α_i проводится по формуле

$$\alpha_i = (k_{i+1} - k_i)m_{i+1} + (k_{i+2} - k_i)m_{i+2} + \dots + (k_n - k_i)m_n, \quad (23.6)$$

где i – индекс, указывающий на изменение главного параметра, i изменяется от s до p ;

k – коэффициенты фильтрации соответствующих слоев, м/сут.;

n – общее количество слоев грунтовой толщи;

m – мощность соответствующих слоев, м.

Величину промежуточного решения R_i находят по формулам:

$$R_i = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{\delta_i}} \left(\operatorname{arctg} \frac{k_i H + \alpha_i}{\sqrt{\delta_i}} - \operatorname{arctg} \frac{k_i h + \alpha_i}{\sqrt{\delta_i}} \right), & \text{при } \delta_i = -k_i v_i - \alpha_i^2 > 0; \\ \frac{1}{k_i h + \alpha_i} - \frac{1}{k_i H + \alpha_i} & \text{при } \delta_i = 0; \\ \frac{1}{2\sqrt{\delta_i}} \operatorname{lg} \left(\frac{\sqrt{-\delta_i} - \alpha_i - k_i h}{\sqrt{-\delta_i} + \alpha_i + k_i h} \frac{\sqrt{-\delta_i} + \alpha_i + k_i H}{\sqrt{-\delta_i} - \alpha_i - k_i H} \right), & \text{при } \delta_i < 0 \end{cases} \quad (23.7)$$

$$\text{где } H = \begin{cases} M_i & \text{при } i \neq p; \\ h_{кин} & \text{при } i = p; \end{cases} \quad (23.8)$$

$$M_i = \sum_{\gamma=i}^n m_{\gamma}; \quad (23.9)$$

где γ – индекс суммирования;

$$h = \begin{cases} m & \text{при } i = s; \\ M_{i+1} & \text{при } i \neq s; \end{cases} \quad (23.10)$$

$$v_i = k_j m_{\partial}^2 + 2\alpha_j m_{\partial} + \sum_{\gamma=i}^{j+1} (k_{\gamma-1} - k_{\gamma}) M_{\gamma}^2; \quad (23.11)$$

$$M_{\gamma} = m_{\gamma} + m_{\gamma+1} + m_{\gamma+2} + \dots + m_n. \quad (23.12)$$

После этого находится время поднятия УГВ между дренами T по формуле

$$T = (L^2 + 4L\Phi) \sum_{i=s}^p \mu_i R_i, \quad (23.13)$$

где Φ – фильтрационное сопротивление дрен рассчитывается по общеизвестной методике [20];

$\mu_i = 5,76k_i^{0,5}\Delta H^{0,33}W_a^{-1,25}$ – коэффициент нехватки насыщения минеральных почв по

А. В. Черенкову [38];

ΔH – величина изменения УГВ, м;

W_a – влажность почвы, 20–50 % от объема.

Если $T \leq t_l$, то уровень $m_{\partial 1}$ нужно снизить до $m_{\partial 2}$ после расчетного времени T , не дожидаясь времени t_l (рис. 23.15, а). При этом уровень в междурении установится на заданном значении еще до момента переключения уставки поплавков гидрорегуляторов. Если $T > t_l$, то определяется время, за какое уровень между дренами достигнет следующего слоя по формулам (23.7) и (23.13), если оно меньше t_l , то рассчитывается по достижении границы следующего слоя. Процесс расчета будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет превышение установленного времени t_l . Кроме того, за промежуток времени Δt , что остается до момента t_l , определяем высоту поднятия УГВ между дренами в текущем слое по формулам:

$$h_{li}^0(t_l) = \begin{cases} -\frac{\alpha_i}{k_i} + \frac{\sqrt{\delta_i}}{k_i} \operatorname{tg}(\varphi_i + \zeta_i \Delta t), \text{ при } \delta_i > 0; \\ -\frac{\alpha_i}{k_i} + \frac{I}{\frac{k_i}{\sum_{\gamma=i+1}^n k_\gamma m_\gamma} + \frac{k_i \Delta t}{\mu_i(L^2 + 4L\Phi)}}, \text{ при } \delta_i = 0; \\ \frac{\sqrt{-\delta_i} - \alpha_i}{k_i} - \frac{-2\psi_i \sqrt{-\delta_i}}{k_i(-\psi_i + e^{2\Delta t \zeta_i})}, \text{ при } \delta_i < 0, \end{cases} \quad (23.14)$$

$$\text{де } \varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{k_i M_{i+1} + \alpha_i}{\sqrt{\delta_i}}; \quad (23.15)$$

$$\psi_s = \frac{\alpha_i - \sqrt{-\delta_i} + k_i M_{i+1}}{\alpha_i + \sqrt{-\delta_i} + k_i M_{i+1}}; \quad (23.16)$$

$$\zeta_s = \frac{\sqrt{|\delta_i|}}{\mu_i(L^2 + 4L\Phi)}. \quad (23.17)$$

Таким образом, расчеты повторяются для $h_1^0 = h_2^0$ при новом значении $m_\partial = m_{\partial 2}$, начиная с момента времени t_l и новом значении $m = M_{i+1} + h_{11}^0$ по формулам (23.7) и (23.13). В результате находят время установления конечного уровня h_1^0 в междурении, которое необходимо добавить к времени t_l .

Для расчета параметров регулирования УГВ, в которые входят значения начальных и конечных напоров над дренами, время удерживания заданных напоров и время переключения уставки гидрорегуляторов с одного значения на другое, на основе усовершенствованного метода разработан алгоритм расчета параметров уровня режима, а на языке Delphi 5.0 написана компьютерная программа, позволяющая определять параметры регулирования УГВ при увлажнении и настраивать разработанные гидравлические регуляторы.

Проведено сравнение рассчитанных УГВ по усовершенствованному методу с экспериментальными данными, полученными А. В. Черенковым [38] для условий Кишинской ОУС (рис. 23.16). Как видно из графиков, отклонение между расчетными и экспериментальными данными составляет 5,8...8,5 %, что свидетельствует о достаточной точности применения усовершенствованного метода.

Таким образом, нами был усовершенствован метод расчета динамики УГВ для многослойных почв А.Я. Олейника В.Л. Полякова путем введения начальных и граничных условий, что позволило использовать его для технологии циклического увлажнения, что, в отличие от имеющегося, позволяет определять напоры над дренами, продолжительность их выдержки с учетом ограничений на нера-

вномерность увлажнения по междрию и других показателей. В свою очередь, реализация такого подхода дает возможность повысить оперативность водорегулирования. Алгоритм расчета параметров уровня режима, который, в отличие от существующих, позволяет рассчитывать параметры регулирования осушительно-увлажнительной сетью. На основе данного алгоритма разработана компьютерная программа, по которой проведено сравнение расчетных УГВ по усовершенствованному методу с экспериментальными данными по А. В. Черенкову.

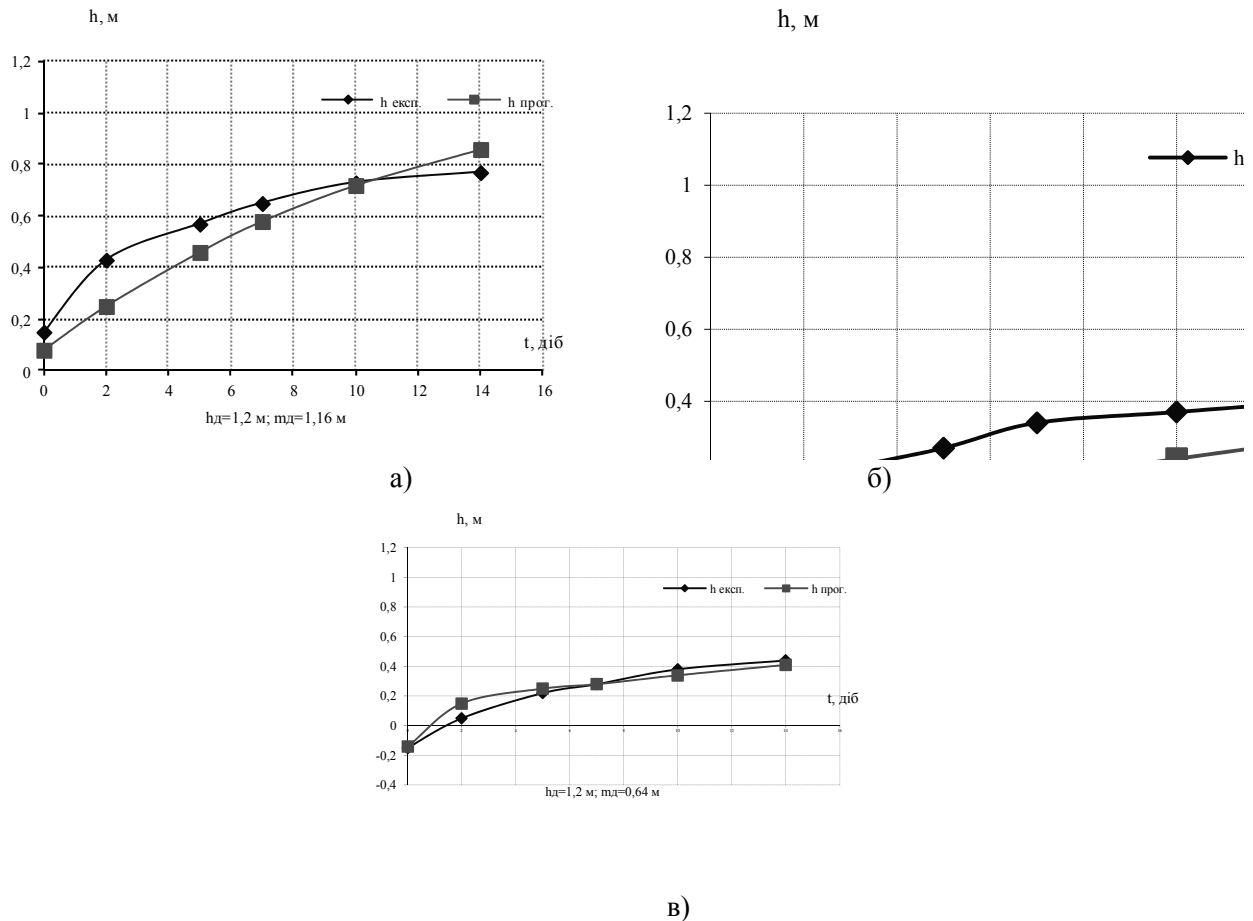


Рис. 23.16. Сравнение расчетных ($h_{\text{прог.}}$) и фактических ($h_{\text{эксп.}}$) данных:
а) $h_d = 1,2$ м, $m_d = 1,16$ м; б) $h_d = 1,2$ м, $m_d = 0,62$ м

23.5.2. Моделирование взаимодействия гидравлических регуляторов с регулирующей сетью.

В сельскохозяйственных мелиорациях особую роль играют исследования комплексного характера, где важное значение уделяется изучению структуры крупных объектов и функциональных связей между отдельными подобъектами. При моделировании таких объектов важное значение уделяют функционированию отдельных элементов, структуре и связей между ними. Важной также является аналогия построения и функционирования модели и оригинала [17]. Такой подход позволяет еще на стадии проектирования определять основные конструктивные параметры регуляторов и регулирующей сети, моделировать их взаимодействие, влияние регулирующих и возмущающих факторов. Вопросами математического моделирования мелиоративных систем занимались А. В. Беркута, С. Ю. Бочаров, М. М. Веригин, П. И. Коваленко, В. И. Кумачов, В. З. Терских, У. Х. Томберг [3, 6 и др.].

Математическую модель осушительно-увлажнительного участка представляют в виде последовательно соединенных звеньев с распределенными параметрами. К ним относятся: закрытая и открытая регулирующая сеть, зона аэрации и грунтовых вод. Таким образом, основной регулируемый параметр (влагозапасы зоны аэрации) зависит от УГВ, суммарного испарения, осадков и водно-физических свойств почв. Как известно, управляющим воздействием является водоподача при увлажнении и отбор избыточной воды при осушении, эти параметры тесно связаны с уровнем воды в открытой сети, но наиболее эффективно осуществлять регулирование водно-воздушного режима с помощью УГВ, который связан с суммарным испарением и атмосферными осадками, кроме того, его легче измерять, а также он более стабилен по всей площади осушительно-увлажнительного массива [1].

О классических методах решения уравнений неуставившейся фильтрации можно сказать, что они не всегда удобны на практике, особенно если нужно получить приближенные решения при ин-

женерных расчетах. Значительные осложнения возникают также при решении систем дифференциальных уравнений, которые являются довольно громоздкими и сложными в использовании и мало отражают переходные процессы в мелиоративных системах, имеющих сложную физическую структуру. Поэтому в последнее время широко используются операционные методы математической физики, основанные на использовании математического аппарата – теории линейных операторов, в частности операторы Лапласа [13].

Вследствие того, что достоверные данные о динамических свойствах мелиоративных систем определяют экспериментальным путем, целесообразно моделировать работу объекта, который был бы типичным для данной территории, а полученные при этом данные использовать для всех остальных объектов, сходным по структуре и условиям. Для создания модели объекта регулирования нами проведены лабораторные и полевые исследования регулирующей сети Кишинской ОУС с использованием обобщенных исследований С. Ю. Бочарова на Сарненской опытной станции [3]. Полученные переходные характеристики регулирующей сети с чередованием процессов увлажнения и осушения для различных технологий водорегулирования представлены на рисунке 23.17.

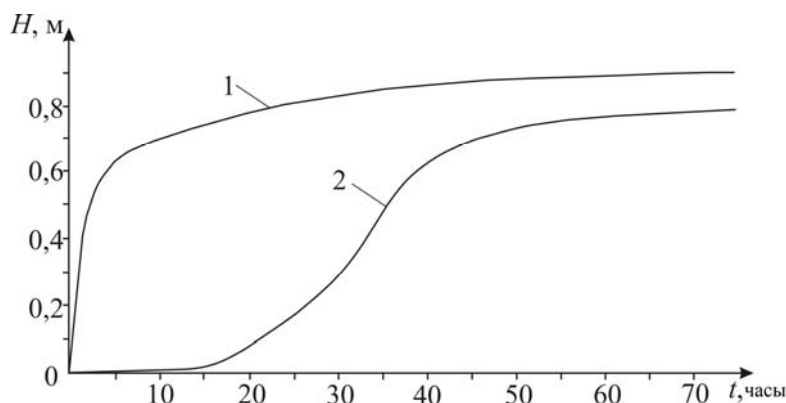


Рис. 23.17. Обобщенные переходные характеристики объекта регулирования при увлажнении: 1) изменение напора в регулирующей дрене; 2) изменение УГВ в междрии

Моделирование объекта (закрытая регулирующая сеть) осуществляют с использованием передаточных функций. Они определяются по экспериментальным переходным характеристикам (рис. 23.18) методом последовательного логарифмирования и аппроксимации переходных характеристик касательными. Таким образом, получаем передаточную функцию изменения уровня над дренами, которая представляет собой произведение аperiодических звеньев с положительной обратной связью, представленную в виде преобразований Лапласа

$$W_{op}(s) = \frac{K_1 K_3}{T_1 s + 1} + \frac{K_2 K_2 (T_2 s + 1)}{(T_2 s + 1)(T_2 s + K_1 + 1)}, \quad (23.18)$$

где K_1, K_2, K_3 – коэффициенты преобразования;
 T_1, T_2 – постоянные времени, сутки.

Для условий исследуемого объекта $K_1 = 0,9, K_2 = 1,5, K_3 = 0,602, T_1 = 0,463$ суток, $T_2 = 0,93$ суток. Для установления взаимодействия элементов системы разработана структурная схема представления изменения уровня воды над дренами с передаточными функциями (рис. 23.18).

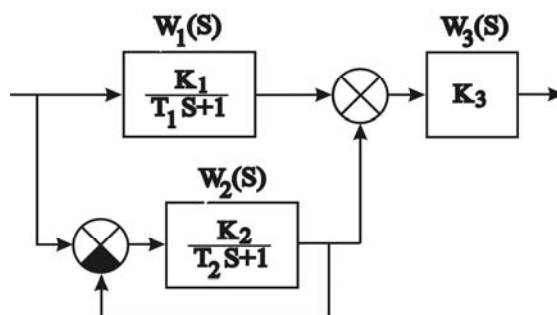


Рис. 23.18. Структурная схема представления изменения УГВ над дренами

Передаточная функция изменения УГВ в междрии представляет собой произведение аperiодических звеньев с постоянным опозданием, она представлена в виде преобразований Лапласа

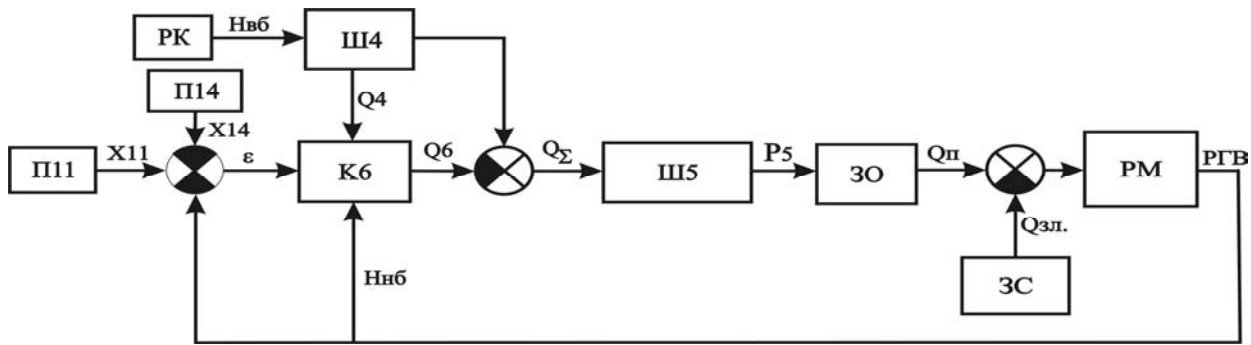


Рис. 23.21. Структурная схема взаимодействия гидрорегулятора водоподачи с регулируемой сетью

Работа гидрорегулятора двустороннего действия отличается от работы гидрорегуляторов дренажного стока и водоподачи тем, что он работает с тупиковой регулирующей сетью, а регулирование выполняется в режиме водоподачи и задержки дренажного стока. Кроме того, несколько усложненная конструкция запорного органа осуществляет пропуск потока регулируемой среды в прямом и обратном направлениях.

Для таких условий нами разработана модель работы гидрорегулятора двустороннего действия с учетом специфики запорного органа, а для работы шлангов – аналогичная, как в выше рассмотренных гидрорегуляторах [22]. Уравнения динамики запорного органа гидрорегулятора двустороннего действия в режиме водоподачи составлено основе уравнения динамики вращательного движения.

Уравнение динамики запорного органа гидрорегулятора двустороннего действия в режиме дренажного стока отличается распределением гидростатических сил, действующих на запорный орган. Хотя поток воды, направленный на запорный орган, в этом режиме действует в противоположном направлении, все же действие силы потока аналогично действию в прямом направлении.

Структурные схемы, иллюстрирующие связи между элементами конструкций гидрорегулятора двустороннего действия в режиме дренажного стока и в режиме водоподачи и их взаимодействие, представлены на рисунках 23.22, 23.23.

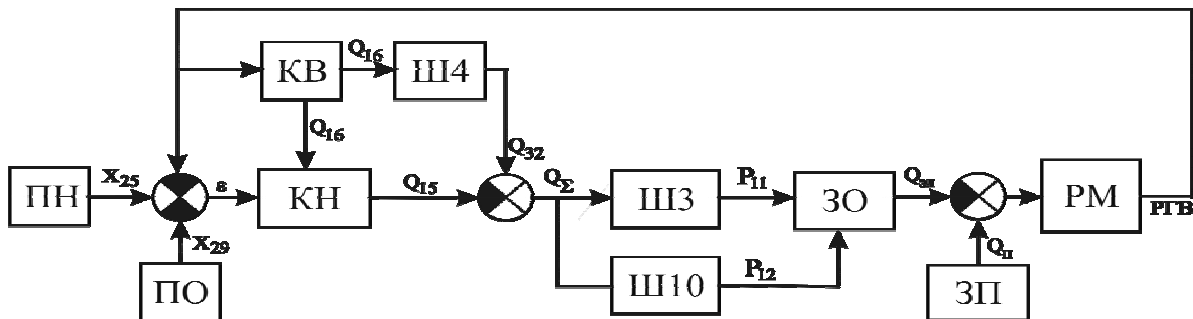


Рис. 23.22. Структурная схема взаимодействия гидрорегулятора двустороннего действия с регулируемой сетью в режиме дренажного стока

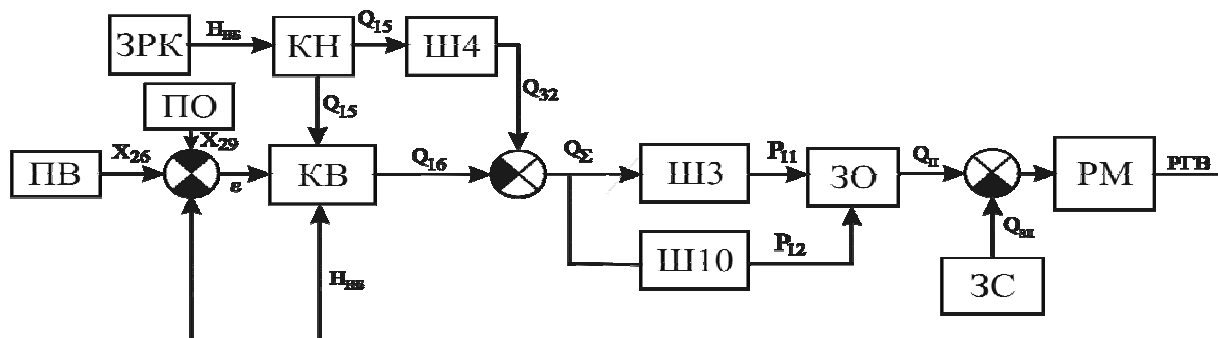


Рис. 23.23. Структурная схема взаимодействия гидрорегулятора двустороннего действия с регулируемой сетью в режиме водоподачи

Практическая реализация такого подхода представлена в виде блок-программ программного комплекса MatLab-Simulink, которые могут использоваться при проектировании новых и реконструкции существующих ОУС.

Математическое моделирование представляет собой математическое описание работы элементов устройства или системы и связей между ними. Модель представляет собой объект-аналог, что позволяет на этапе исследования проводить моделирование при использовании реальных параметров объекта-прототипа. При таких условиях модели можно использовать там, где невозможно либо нерентабельно проводить экспериментальное исследование действительного объекта, а также для проведения широкого спектра испытаний без вмешательства в работу мелиоративной системы. Кроме того, это позволяет в процессе проектирования осуществлять выбор параметров системы, а также предвидеть возможные недостатки в дальнейшей работе ее элементов и их взаимодействия.

Для моделирования взаимодействия разработанных гидрорегуляторов и регулирующих устройств использовали компьютерную систему математического моделирования MatLab-Simulink, такой подход позволяет осуществлять моделирование любых устройств и систем, используя передаточные функции, которые находят из уравнений, описывающих работу элементов системы. С помощью MatLab-Simulink осуществлено моделирование гидрорегуляторов водоподачи и дренажного стока при их работе на проточной регулирующей сети, а также гидрорегулятора двустороннего действия на тупиковой сети.

Для определения достоверности экспериментальных исследований проведено моделирование работы гидрорегуляторов во взаимодействии с резервуаром исследовательской установки. С этой целью по экспериментальным данным проведено определение теоретических характеристик. Среднеквадратическое отклонение составляет для гидрорегулятора дренажного стока $R = 0,0154$ м, для гидрорегулятора водоподачи $R = 0,0307$ м и для гидрорегулятора двустороннего действия $R_0 = 0,028$ м и $R_s = 0,0185$ м, что свидетельствует о достоверности экспериментальных значений, полученных в ходе лабораторных исследований.

В конечном итоге такой подход позволяет использовать разработанные математические модели для моделирования работы гидрорегуляторов, а также их взаимодействия с регулирующей сетью и в проектировании новых и реконструкции существующих мелиоративных систем.

23.6. Оценка эффективности применения средств гидравлической автоматизации и осушительно-увлажнительных систем

23.6.1. Оценка эффективности применения средств гидравлической автоматизации ОУС.

Главная цель водорегулирования основывается на обеспечении рекомендуемых норм осушения для различных культур и почв. Практика эксплуатации осушительных систем показала, что соблюдение рекомендованных норм осушения обеспечивается использованием различных технологий водорегулирования. На эффективность водорегулирования существенное влияние оказывает диапазон колебания УГВ на осушаемом массиве, поскольку ОУС является инерционной по изменению параметров. Чем меньше эти диапазоны при различных режимах, тем эффективнее будет действовать та или иная технология, а это будет влиять как на показатели водорегулирования, так и на урожайность выращиваемых культур.

Такой подход требует проведения полномасштабных натурных исследований, которые в современных условиях не всегда возможно выполнить, особенно с учетом изменчивости метеофакторов во времени. Для реализации этих задач целесообразно использовать прогнозно-имитационные методы и модели, позволяющие спрогнозировать поведение исследуемого объекта в многолетнем и внутривегетационном сечении.

Применение прогнозно-имитационных моделей основывается на использовании систематизированных многолетних исследований, с помощью которых можно оказывать статистически обоснованную сравнительную оценку формирования урожайности, водопотребления культур и водного режима осушаемых земель для различных технологий водорегулирования в различные по условиям тепло- и влагообеспеченности периоды вегетации и осуществить оценку характера и степени связи между ними.

В основе решения вопросов о влиянии технологии водорегулирования на производительность осушаемых земель находятся обобщенные результаты многолетних комплексных полевых исследований и машинного эксперимента, которые проводились А. В. Скрыпником, Г. С. Потоцким, Н. А. Лазарчуком, А. Н. Рокочинским, А. В. Черенковым и др. [7, 31, 35 и др.].

Проведение лабораторных исследований осуществлялось с целью проверки принципов, которые были положены в основу разработки гидрорегуляторов, они позволили оценить точность и качество водорегулирования разработанными средствами, а также их способность реализовать соответствующие режимы. При этом главный параметр – это точность соблюдения уровней воды в определенном диапазоне, что соответствует различным способам водорегулирования (осушение, предупреди-

тельное и увлажнительное шлюзование). Эффективность средств гидравлической автоматизации представлена в виде обобщенных статистических характеристик при изменении УГВ по различным технологиям водорегулирования (табл. 23.6).

Таблица 23.6

**Обобщенная статистическая характеристика режимов
уровней воды по результатам лабораторных исследований**

Способ водорегулирования	$H_{min...H_{max}}$, м	\bar{H} , м	S_H	$t_{0,05} \cdot S_H$	$t_{0,05} \cdot S_{\bar{H}}$
Регулятор водоподдачи					
Осушение	0,7...0,72	0,70	0,014	0,040	0,018
Предупредительное шлюзование	0,57...0,69	0,62	0,040	0,084	0,008
Увлажнительное шлюзование	0,43...0,53	0,48	0,036	0,078	0,021
Регулятор дренажного стока					
Осушение	0,7...0,71	0,70	0,004	0,011	0,005
Предупредительное шлюзование	0,56...0,69	0,62	0,041	0,089	0,023
Увлажнительное шлюзование	0,33...0,55	0,44	0,076	0,160	0,033
Регулятор двустороннего действия					
Осушение	0,7...0,71	0,70	0,004	0,011	0,005
Предупредительное шлюзование	0,59...0,69	0,64	0,038	0,079	0,018
Увлажнительное шлюзование	0,44...0,55	0,50	0,048	0,104	0,028

Производственно-полевые исследования являются важной составляющей всего комплекса исследований, поскольку они позволяют проверить дееспособность разработанных средств гидроавтоматизации в производственных условиях и определить их эффективность при использовании различных технологий водорегулирования. При этом важно определить точность отработки режимов и влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Результаты обобщенных статистических характеристик режимов УГВ на Кишинской ОУС Житомирской области представлены в таблице 23.7.

Таблица 23.7

**Обобщенная статистическая характеристика режимов УГВ и урожая многолетних трав
по результатам полевых исследований на Кишинской ОУС в 2004 г.,
обеспеченность осадками $p = 65 \%$**

Способ водорегулирования	$H_{min...H_{max}}$, м	\bar{H} , м	S_H	$t_{0,05} \cdot S_H$	$t_{0,05} \cdot S_{\bar{H}}$	Y_{ϕ} , ц/га
Ручной режим						
Осушение	1,21...1,28	1,23	0,29	0,66	0,21	37,0
Предупредительное шлюзование	0,65...1,29	1,01	0,03	0,09	0,05	38,6
Увлажнительное шлюзование	0,46...1,41	0,95	0,034	0,078	0,027	41,5
Автоматизированный режим						
Осушение	0,6...1,29	0,99	0,21	0,48	0,15	40,3
Предупредительное шлюзование	0,65...1,07	0,87	0,01	0,03	0,02	42,2
Увлажнительное шлюзование	0,58...0,98	0,82	0,13	0,28	0,09	50,2
Оценка отклонения по режимах, %						
Осушение	-	19,51	27,59	27,27	28,57	8,19
Предупредительное шлюзование	-	13,86	66,67	66,67	60,00	8,53
Увлажнительное шлюзование	-	13,68	73,85	72,14	70,00	17,33

На эффективность водорегулирования существенное влияние оказывает диапазон колебания УГВ на осушаемом массиве, поскольку ОУС является инерционной по изменению параметров. То есть чем меньше диапазон колебания установленных уровней при различных режимах, тем эффективнее будет действовать та или иная технология водорегулирования, а это, в свою очередь, повлияет на урожайность и другие показатели. Анализируя лабораторные исследования, мы установили, что

средний диапазон изменения уровня для разработанных гидрорегуляторов составляет $\Delta h_c \approx 0,1$ м, а среднее отклонение по критерию Стьюдента $S_{\bar{H}} \approx 0,02$. В условиях полевых исследований эти показатели составляют для ручного режима $\Delta h_c \approx 0,55$ м, $S_{\bar{H}} \approx 0,14$, а для автоматизированного режима $\Delta h_c \approx 0,34$ м, $S_{\bar{H}} \approx 0,09$.

Итак, величина диапазона изменения уровня при лабораторных и полевых исследованиях при использовании средств гидравлической автоматизации почти в два раза меньше, чем при использовании ручного режима регулирования, а прирост урожая сена на опытном участке Олевской сорто-исследовательской станции при использовании увлажняющего шлюзования в 2004 г. составил почти 10 ц/га, что свидетельствует о росте эффективности водорегулирования с использованием средств автоматизации по сравнению с ручным регулированием.

Чтобы снять ограничения, которые имеют лабораторные и полевые исследования по меняющимся условиям тепло- и влагообеспеченности в разные годы при различных технологиях, проведен машинный эксперимент, который позволил спрогнозировать поведение исследуемого объекта, учитывая изменчивость метеофакторов во времени. Кроме того, полевые исследования не показывают всего характера поведения системы для лет различной влагообеспеченности $p = 10...90$ % по показателям урожайности, увлажняющей нормы и уровня грунтовых вод [16].

Машинный эксперимент на ЭВМ проведен с целью анализа применения автоматизированного регулирования по сравнению с ручным при предупредительном и увлажнительном шлюзовании и осушении. Он основывается на использовании теоретически обоснованных и практически апробированных методов моделирования в переменных природно-мелиоративных условиях осушаемых земель [32, 33, 36 и др.]. Исходными данными для проведения машинного эксперимента является материалы, полученные в результате полевых исследований на Кишинской ОУС Олевского района Житомирской области, которые представлены в таблице 23.8.

Таблица 23.8

Исходные данные для проведения машинного эксперимента

Природная зона	Житомирское Полесье
Тип почв	Супесчаные
Бонитет почвы	30 баллов
Сельскохозяйственные культуры	Многолетние травы (площадь 100 га)
Способы водорегулирования	Осушение, предупредительное и увлажняющее шлюзование

Машинный эксперимент позволил оценить показатели фактической урожайности V_f , продолжительность оптимальной влагообеспеченности расчетного слоя почвы за вегетацию $n(IW)$, увлажняющую норму за вегетацию M и значение уровня грунтовых вод H . Обобщенные результаты исследований представлены в таблице 23.9.

В таблице 23.9 в числителе представлены средние значения уровня грунтовых вод H , продолжительности оптимальной влагообеспеченности расчетного слоя почвы за вегетацию $n(IW)$, увлажнительная норма за вегетацию M и фактической урожайности V_f . В знаменателе – размах варьирования значений указанных параметров по годам с обеспеченностью $p = 10...90$ %.

По данным таблицы 23.9 видно, что при использовании автоматизированного регулирования выросла от $p = 10$ % до $p = 90$ % фактическая урожайность V_f для предупредительного и увлажнительного шлюзования соответственно на 2 и 3 ц/га, это достигается за счет увеличения количества воды на увлажнение на 136 м³/га, но удельный показатель использования поливной воды на формирование единицы урожая уменьшается. При этом использование средств автоматизации для водорегулирования позволяет снизить средние значения УГВ на 0,07...0,11 м (7,2...9,6 %), а средний диапазон варьирования уровня составляет $\Delta h_c \approx 0,25$ м. Общая оценка отклонения по режимам при ручном регулировании по сравнению с автоматизированным свидетельствует о том, что регулирование УГВ при автоматизированном режиме эффективнее, чем при ручном.

Итак, использование машинного эксперимента позволило исследовать поведение объекта для условий Кишинской ОУС в автоматизированном и ручном режимах водорегулирования при выращивании многолетних трав с учетом изменчивости метеофакторов во времени. Обобщенные результаты лабораторных и полевых исследований, а также машинного эксперимента подтвердили эффективность водорегулирования при применении средств автоматизации, о чем свидетельствует сопоставимость их результатов.

**Обобщенные результаты машинного эксперимента на ЭВМ
по годам расчетной обеспеченности $p = 10...90\%$ на Кишинской ОУС**

Способ водорегулирования	$\frac{\bar{H}}{H_{10}...H_{90}}$, м	$\frac{\overline{n(IW)}}{n(IW)_{10}...n(IW)_{90}}$	$\frac{\bar{M}}{M_{10}...M_{90}}$, м ³ /га	$\frac{\bar{Y}_\phi}{Y_{10}...Y_{90}}$, ц/га
Ручной режим				
Осушение	$\frac{1,15}{0,81...1,33}$	$\frac{0,49}{0,12...1,0}$	0	$\frac{33,1}{14,1...51,1}$
Предупредительное шлюзование	$\frac{1,0}{0,87...1,11}$	$\frac{0,52}{0,19...1,0}$	0	$\frac{36,3}{18,1...53,3}$
Увлажнительное шлюзование	$\frac{0,96}{0,86...1,04}$	$\frac{0,53}{0,19...1,0}$	$\frac{881}{0...2307}$	$\frac{42,3}{28,8...53,3}$
Автоматизированный режим				
Осушение	$\frac{1,04}{0,8...1,18}$	$\frac{0,52}{0,12...1,0}$	0	$\frac{35,8}{28,8...52,9}$
Предупредительное шлюзование	$\frac{0,93}{0,8...1,03}$	$\frac{0,54}{0,19...1,0}$	0	$\frac{38,3}{22,3...48,1}$
Увлажнительное шлюзование	$\frac{0,89}{0,8...0,94}$	$\frac{0,59}{0,19...1,0}$	$\frac{1017}{0...3667}$	$\frac{45,3}{28,8...49,1}$
Оценка отклонения по режимах, %				
Осушение	$\frac{9,57}{1,23...11,28}$	5,77	0	$\frac{7,54}{51,04...3,40}$
Предупредительное шлюзование	$\frac{7,21}{7,00...8,05}$	3,70	0	$\frac{5,52}{18,83...9,76}$
Увлажнительное шлюзование	$\frac{7,29}{7,00...9,62}$	10,17	$\frac{13,37}{0,0...37,09}$	$\frac{6,62}{0,0...7,88}$

23.6.2. Техничко-экономическая эффективность автоматизации процессов водорегулирования ОУС. Техничко-экономическая эффективность должна отражать эффективность проекта с точки зрения общества и экономики страны в целом, учитывать социальную и экологическую значимость проекта. Социальные и экологические результаты рассматриваются как дополнительные показатели народнохозяйственной эффективности и учитываются при принятии решений о поддержке проекта. Экологический эффект при внедрении гидравлических средств автоматизации достигается за счет общего улучшения водного режима в части уменьшения диапазонов колебаний УГВ, что позволяет снизить эрозию и вымывание питательных веществ из верхнего пахотного слоя почвы.

Методической основой для расчета технико-экономической эффективности внедрения средств гидравлической автоматизации на ОУС служит утвержденная приказом Министерства экономики и европейской интеграции и Министерства финансов Украины от 26.09.01 № 218/446 «Методика определения экономической эффективности затрат на научные исследования и разработки и их внедрение в производство» и инновационная разработка кафедры менеджмента и гидромелиораций (НУВХП) «Временные рекомендации по экономическому обоснованию мелиоративных объектов в зоне осушительных мелиораций» [36].

Рост урожайности сельскохозяйственных культур возможен благодаря повышению эффективности водорегулирования, которое, в свою очередь, достигается использованием современных средств гидравлической автоматизации для регулирования водно-воздушного режима почвы. Расчет экономической эффективности проведен по исходным данным, которые получены в результате полевых исследований на Кишинской ОУС Олевского района Житомирской области. Для внедрения разработанных гидравлических регуляторов на этой системе необходимы дополнительные капиталовложения, в результате использования которых получен дополнительный экономический эффект.

Общие капиталовложения на внедрение средств автоматизации *КВ* включают одноразовые и текущие расходы. Единовременные затраты представлены капиталовложениями, которые необходимы для строительства колодцев, изготовления и монтажа гидравлических регуляторов. Их расчет приведен в ценах 2006 г. Сметная стоимость всех работ выполнена с помощью программного комплекса АВК-3 (табл. 23.10).

Показатели капитальных вложений на проведение автоматизации водорегулирования

Виды выполненных работ	Стоимость единицы, грн.	Общая стоимость, тыс. грн.
Строительство и установка дренажного колодца	972	93,3
Установка и изготовление гидрорегулятора двустороннего действия	511	49,4
Установка и изготовление гидрорегулятора водоподачи	372	35,7
Установка и изготовление гидрорегулятора дренажного стока	421	40,4
ВСЕГО		218,8

Кроме капитальных вложений, на проведение автоматизации водорегулирования необходимы дополнительные текущие расходы, связанные с эксплуатацией дополнительных сооружений и выращивания сельскохозяйственных культур: многолетних трав, картофеля и кормовой свеклы.

Инвестиционная оценка внедрения средств гидравлической автоматизации для водорегулирования выполняется с учетом народнохозяйственной эффективности. Общая экономическая (народнохозяйственная) эффективность отражает эффективность проекта с точки зрения общества и экономики страны в целом, учитывает социальную и экологическую значимость проекта. Согласно этому подходу формируются показатели результатов (эффектов) и затрат при экономических расчетах. Расчет общей экономической эффективности осуществляется по общему объему выращенной продукции в пределах ОУС.

Прирост чистого дохода в результате внедрения средств автоматизации определяется как разница между приростом валовой продукции и текущими затратами на внедрение средств автоматизации на системе. В нашем случае используется средневзвешенное значение прироста чистого дохода, равное 299,8 грн./га. Суммарные инвестиции на реализацию проекта по автоматизации определяются по статьям расходов, составляющих 458 грн./га. В качестве показателей эффективности инвестиций используются показатели чистого дисконтированного дохода (*ЧДД*), индекс доходности инвестиций (*ИДИ*) и дисконтированный срок окупаемости (*ДСО*). Основные показатели, полученные при расчете экономической эффективности от внедрения средств автоматизации, представлены в таблице 23.11.

Таблица 23.11

Основные показатели экономической эффективности инвестиций на автоматизацию водорегулирования осушаемых земель

№ п/п	Показатели	Ед. измерения	Значение
1	Индекс доходности инвестиций, <i>ИДИ</i>	-	1,64
2	Чистый дисконтированный доход, <i>ЧДД</i>	грн./га	752,5
3	Дисконтированный срок окупаемости, <i>ДСО</i>	роки	2

Итак, технико-экономическое обоснование отражает эффективность проведенных исследований с учетом социальных и экологических аспектов, а инвестиционная оценка внедрения средств гидравлической автоматизации осушаемых земель Волынского Полесья на примере Кишинской ОУС Олевского района Житомирской области подтвердила экономическую эффективность автоматизированного режима водорегулирования, ибо дисконтированный срок окупаемости инвестиций не превышает 2 года.

Литература

1. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. – М.: Колос, 1982. – 237 с.
Баховец Б. А., Пастушенко В. И. Моделирование процесса подпочвенного увлажнения почвогрунтов на ЭВМ // Гидромелиорация и гидротехническое строительство. – Львов: Вища школа, 1979. – Вып 7. – С. 35–39.
2. Бочаров С. Ю. Автоматизация водорегулирующих комплексов. – Ровно: Издательство РГТУ, 2000. – 110 с.
3. Дальков М. П., Макарова Е. Н. Вероятностный метод прогноза водного режима осушаемых почв // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 6. – С. 22–24.
4. Землеробство на осушенных землях / М. Г. Цюпа, В. С. Бистрицкий, I. Т. Слюсар [та ін.] ; за ред. М. Г. Цюпи. – Київ: Урожай, 1990. – 184 с.
5. Коваленко П. И. Автоматизация мелиоративных систем. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
6. Лазарчук М. О., Рокочинський А. М., Черенков А. В. Проектування осушувальних систем з основами САПР. – Київ: ІСДО, 1994. – 408 с.
7. Мазепа В. К., Питкевич Э. Г., Чалый Б. И., Юрецкий В. Г. Совершенствование водорегулирования на осушительно-увлажнительных системах // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 3. – С. 47–50.
8. Мартыненко И. И., Лысенко В. Ф. Проектирование систем автоматики. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.
9. Маслов Б. С., Минаев И. В., Губер К. В. Справочник по мелиорации. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 384 с.

10. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я.осушительно-увлажнительные системы. – М.: Колос, 1981. – 280 с.
11. Методические рекомендации по установке и эксплуатации автоматических регуляторов уровней на осушительно-увлажнительных системах УССР НТД-33.02. 003. 83 / А. Ф. Рубан, А. В. Яцык, А. И. Тыщенко [и др.]. – Киев: УкрНИИГим, 1983. – 26 с.
12. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / под ред. Н. Н. Веригина. – М.: Колос, 1970. – 440 с.
13. Наумчук О. М. Моделювання роботи гідрорегуляторів на проточній регулюючій мережі осушувально-зволожувальних систем // Вісник НУВГП. – 2005. – Вип. 2(30). – С. 49–55.
14. Наумчук О. М. Розрахунок параметрів регулювання закритої регулюючої мережі з багатощаровою структурою ґрунтів // Вісник НУВГП. – 2006. – Вип. 2(34). – Ч. 1. – С. 50–57.
15. Наумчук О. М., Коптюк Р. М., Нестерук Л. М. Комплексна оцінка за машинним експериментом на ЕОМ ефективності застосування засобів гідравлічної автоматизації для водорегулювання на осушуваних землях // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – 2006. – Вип. 31. – С. 427–432.
16. Никитенков Б. Ф. Моделирование и модельный эксперимент в сельскохозяйственных мелиорациях // Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям / под ред. Б. С. Маслова. – М., 1983. – С. 213–222.
17. Олейник А. Я. Геогидродинамика дренажа. – Киев: Наук. думка, 1981. – 284 с.
18. Олейник А. Я. Фильтрационные расчеты при совместной работе горизонтального и вертикального дренажа в двухслойном грунте // Мелиорация и водное хозяйство. – 1968. – Вып. 8. – С. 97–112.
19. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. – Киев: Наук. думка, 1987. – 280 с.
20. Пастушенко В. Й., Наумчук О. М. Використання автоматичних гідрорегуляторів на закритій та відкритій регулюючих мережах осушувально-зволожувальних систем // Меліорація і водне господарство. – 2006. – Спец. вип. 93–94. – С. 170–177.
21. Пастушенко В. Й., Наумчук О. М. Моделювання взаємодії гідрорегулятора із регулюючою мережею в режимі осушення та зволоження // Вісник НУВГП. – 2004. – Вип. 3(27). – С. 72–77.
22. Пастушенко В. Й., Наумчук О. М. Розрахунок параметрів регулятора двосторонньої дії // Збірник статей УДАВГ. – Рівне, 1997. – С. 93–96.
23. Пастушенко В. Й., Наумчук О. М. Серія гідравлічних регуляторів для регулюючої мережі осушувально-зволожувальних систем // Вісник УДАВГ. – 1998. – Вип. 1. – Ч. 2. – С. 66–69.
24. Пастушенко В. Й., Наумчук О. М. Технічна реалізація режимів керування рівнями ґрунтових вод при зволоженні // Актуальні проблеми водного господарства : зб. наук. ст. – Рівне, 1997. – Т. 1. – С. 85–88.
25. Пастушенко В. Й., Рогалевич Ю. П., Наумчук О. М. Особливості визначення основних параметрів регулятора двосторонньої дії // Актуальні проблеми водного господарства : зб. наук. ст. – Рівне, 1997. – Т. 1. – С. 89.
26. Пастушенко В. Й., Сидорчук Б. П., Наумчук О. М. Розрахунок динаміки управляючої дії при циклічному зволоженні // Вісник РДТУ. – 1999. – Вип. 2. – Ч. 1. – С. 186–190.
27. Пат. 46792 Україна, Е02В11/00. Регулятор двосторонньої дії: Пат. 46792 Україна, Е02В11/00 В. Й. Пастушенко, Б. О. Баховець, О. М. Наумчук (Україна). – №98041889; Заявл. 14.04.98; Опубл. 17.06.02. Бюл. № 6. – 3 с.
28. Проектирование и расчет регулирующей сети осушительно-увлажнительных систем на торфяных почвах : рекомендации / под ред. А. И. Ивицкого. – Минск: Ураджай, 1979. – 80 с.
29. Рекомендации по расчету водного режима почв / П. И. Гаць. – Ровно: УИИВХ, 1987. – 40 с.
30. Рекомендации по технологии применения импульсного шлюзования на осушительно-увлажнительных системах с автоматизированным водорегулированием / Н. А. Лазарчук [и др.]. – Ровно: УИИВХ, 1987. – 28 с.
31. Рокочинський А. М. Оптимізація проектних технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ін-т гідротехніки і меліорації УААН. – Київ, 2002. – 35 с.
32. Рокочинський А. М., Вознюк С. Т., Сташук В. А. Оптимізація водорегулювання осушуваних земель // Водне господарство України. – 1996. – № 4. – С. 13–15.
33. Руководство по проектированию осушительных систем в Украинской ССР: НТД 33.63-074-87: утв. прик. Минводхоза УССР 15.12.86. № 345: Срок введения с 01.07.87. – Киев, 1987. – 529 с.
34. Скрипник О. В. Системы двустороннего регулирования водного режима // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 4. – С. 55–57.
35. Тимчасові рекомендації з економічного обґрунтування меліоративних проектів у зоні осушувальних меліорацій / Н. А. Рокочинська, Л. Ф. Кожушко, А. М. Рокочинський, за уч. В. Д. Дупляка. – Рівне, 2004. – 68 с.
36. Тыщенко А. И., Рубан А. Ф. Гидравлическая автоматизация осушительно-увлажнительных систем // Гидротехника и мелиорация. – 1987. – № 7. – С. 52–56.
37. Черенков А. В. Обоснование элементов технологии подпочвенного увлажнения с учетом влияния конструкции и параметров закрытого дренажа и проводящей сети каналов в дерновых и дерново-подзолистых песчаных почвах западного Полесья УССР : дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02. – Киев, 1983. – 179 с.
38. Черенков А. В., Черенкова Л. П., Лазарчук М. О. Пошарово-балансова схема розрахунку водного режиму ґрунтів в умовах близького залягання рівня ґрунтових вод // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Львів: Світ, 1993. – Вип. 20. – С. 9–12.
39. Шкиннис Ц. Н. Гидрологическое действие дренажа. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 311 с.

Глава 24. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНОВОГО ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ПОЛЕСЬЯ

24.1. Необходимость и принципы комплексной автоматизации планового водорегулирования на осушаемых землях

Плановое водорегулирование является неотъемлемой составляющей общего технологического процесса при функционировании существующих осушительно-увлажняющих систем (ОУС) и соответственно позволяет разрабатывать и реализовывать на практике всю стратегию и тактику их управления в переменных природно-климатических условиях при необходимом (или имеющемся) ресурсном обеспечении.

Теоретические основы планового водорегулирования разрабатывали А. Н. Костяков, И. А. Янишевский, И. А. Шаров, С. Р. Оффенгенден, Г. П. Гельцер и др. В дальнейшем совершенствовании технологии системного и хозяйственного водорегулирования занимались В. А. Шаумян, С. М. Алпатьев, М. Ф. Натальчук, В. П. Остапчик, Ю. М. Никольский, А. Ю. Дирсе, В. Ф. Митин, Ц. Н. Шкин-кис, С. И. Харченко, А. Ф. Киенчук и другие исследователи [4, 18].

Значительный вклад в разработку этого вопроса в области осушительных мелиораций сделали А. И. Ивицкий, А. М. Янголь, В. М. Зубець, В. Ф. Шебеко, Г. И. Афанасик, П. И. Закржевский, П. А. Волковский, Ш. И. Брусиловский, П. Б. Свиклис, В. Я. Черненко, Д. Б. Циприс, Х. М. Стариков, О. В. Скрипник, А. Ф. Рубан, А. В. Яцик и др. [1, 11, 15, 23, 24, 25, 26 и др.].

Необходимость дальнейшего развития и совершенствования принципов, моделей, методов и средств реализации планового водорегулирования обусловлены постоянно растущими требованиями к качеству и эффективности его выполнения из-за необходимости повышения общей эффективности использования осушаемых земель за счет оптимизации процессов управления, расширения информационного обеспечения, повышения оперативности, качества и общего уровня технической эксплуатации ОУС в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения.

Эффективное решение задач по плановому водорегулированию при управлении водными ресурсами на долгосрочной основе и в оперативном режиме требует привлечения методов системного анализа, комплекса прогнозно-оптимизационных моделей, экономических и экологических критериев, а также использования человеко-машинных управляющих систем с непосредственным включением ЭВМ вместе с управляющими техническими средствами [10, 25 и др.].

Управление водным режимом через водорегулирование на осушаемых землях соответствующими способами (на уровне мелиорированных полей) и схемы (на уровне системы) на существующих ОУС может осуществляться согласно уровням принятия решений во времени в несколько этапов:

1) на стадии технологической подготовки системы к следующему сезону (уровень стратегического планирования) через разработку системного плана водорегулирования (СПВ) путем выполнения инженерных прогнозно-оптимизационных режимных расчетов на долгосрочной основе по всем спектрам схематизированных типичных природно-мелиоративных условий (расчетных по тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации и возможных способов водорегулирования) для плановых видов, структуры размещения и урожаев выращиваемых сельскохозяйственных культур;

2) при соответствующей реализации и корректировке СПВ ОУС через выполнение по моделям аналогичных расчетов на краткосрочной основе в оперативном режиме в условиях текущего года (уровень тактического планирования) по фактическим природно-агромелиоративным условиям.

И хотя рассматриваются два разных уровня принятия решений во времени, которые относительно самостоятельны, но в то же время они взаимосвязаны между собой. Поэтому, с одной стороны, они требуют разработки прогнозно-оптимизационных моделей и методов их реализации разного уровня сложности, а также информационного обеспечения в соответствии с видом прогноза природно-мелиоративных режимов (на долгосрочной или краткосрочной основе).

С другой стороны, на этих уровнях, соответствующих одной стадии – эксплуатации системы, рассматриваются однотипные цели и задачи по прогнозной оценке водного режима при различных природно-мелиоративных условиях и обосновании необходимости и целесообразности реализации соответствующих технологий по определенным параметрам технических характеристик способа и режима водорегулирования осушаемых земель (норм и сроков подачи или сброса воды, соответствующих им расходов, модулей, объемов воды и т. д.). При этом иерархия (подчиненная очередность) структуры выполнения необходимых прогнозных режимных расчетов на двух уровнях принятия решений во времени относительно иерархии технической структуры построения системы будет одинаковой. Различные типы и конструкции гидромелиоративных систем как на орошаемых, так и осушаемых землях по их технической структуре построения (рис. 24.1), как правило, характеризуются

выраженной древовидной структурой (графом) расположения и подчинения ее составляющих технических элементов (регулирующих гидротехнических сооружений, каналов, коллекторов, насосных станций, трубопроводов), обслуживающих мелиорированные поля с выращиваемыми на них сельскохозяйственными культурами.

По Е. П. Галямину [3] такая многоуровневая иерархическая система соответствует иерархической структуре системы с последовательными связями по восходящей и нисходящей линиям, представленной на рисунке 24.2, в соответствии с технической структурой построения такой системы (рис. 24.1).

Итак, управление процессом водорегулирования и водораспределения здесь может быть формализовано древовидным графом, $\Omega(N)$, где N – множество вершин (подсистем). В такой системе, $M_\nu \subset N$, $\nu = \overline{1, n_\nu}$, где M_ν – множество вершин ν -го уровня, а $\nu = \overline{1, n_\nu}$ – число уровней иерархии (в данном случае $n_\nu = 4$).

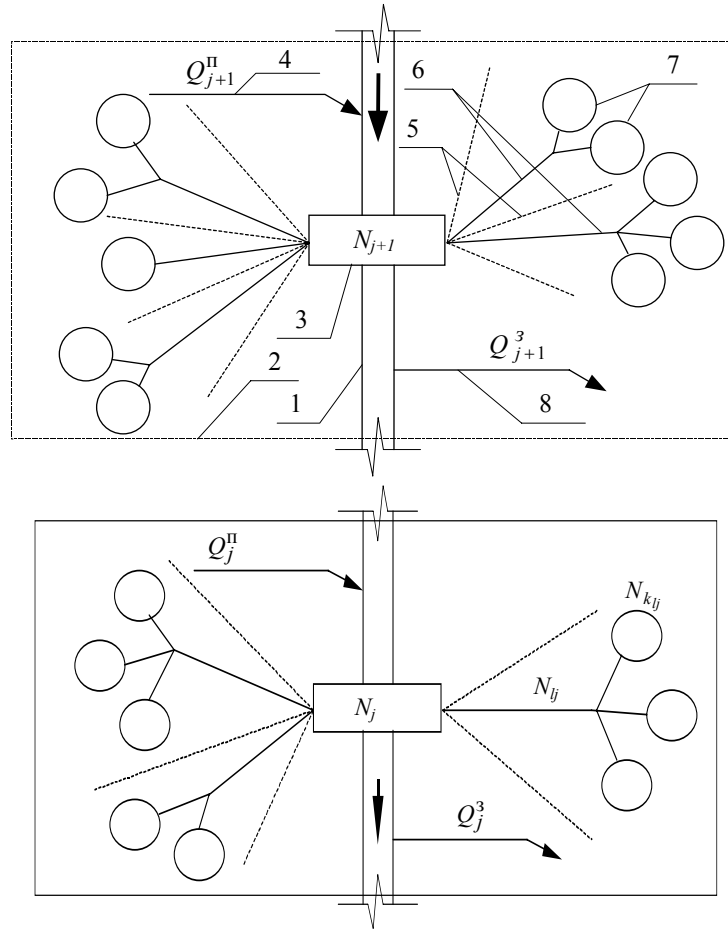


Рис. 24.1. Обобщенная техническая структура ОУС:

1 – водоисточник (магканал или трубопровод); 2 – граница балансового участка (БУ); 3 – распределительный узел (шлюз-регулятор, насосная станция); 4 – приток воды в пределе БУ из других источников; 5 – граница балансового подучастка (БПУ); 6 – ведущий канал или трубопровод в пределах БПУ; 7 – мелиорированные поля или балансовые модули (БМ) в пределах БПУ; 8 – забор воды за пределы БУ на другие нужды; N_j, N_{kj}, N_{kij} – шифры в соответствии регулирующих сооружений, элементов проводящей сети и мелиорированных полей на системе

Система состоит из управляющего центра (вершина $s \in N$), совокупности подсистем, в качестве промежуточных центров (множества $M_\nu \subset N$, $\nu = \overline{2, n_\nu - 1}$ вершин соответствующих совокупностей, $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ та $\{l\}$, $l = \overline{1, n_l}$, имеющих как входящие, так и выходящие ребра, и равноправных звеньев мелиорированных полей с выращиваемыми культурами (множество $M_{n_\nu} \subset N$ вершин имеют только входящие ребра). Ребро (s, j) здесь отождествляется с отношением подчиненности, при этом Q_{sj} – расход (или объем) воды в распределительных каналах или трубопроводах соответствующего уровня иерархии технических элементов проводящей сети системы, выделенной j подсистеме под-

системой s ($j, s \in N$) и т. д. по иерархической структуре построения системы (рис. 24.2). Поэтому вся территория системы (1-й, самый высокий уровень s иерархии, $\nu = 1$) разбивается по узловому принципу управления на балансовые участки по количеству регулирующих гидротехнических сооружений в распределительных узлах магистрального канала или трубопровода системы (2-й, промежуточный уровень j иерархии, $\nu = 2$) (рис. 24.1, 24.2). Под *балансовым участком* (БУ) подразумевается часть системы, обслуживаемая одним распределителем (руслевой шлюз-регулятор, насосная станция и др.)

В пределах БД рассматриваются *балансовые подучастки* (БПУ), подчиненные распределительным каналам или трубопроводам нижестоящим (3-й, промежуточный уровень l иерархии, $\nu = 3$), в пределах которых, в свою очередь, рассматриваются *балансовые модули* (БМ) или мелиорированные поля с плановыми или фактическими посевами выращиваемых культур (4-й, самый низкий уровень k иерархии, $\nu = 4$). Здесь подача воды на увлажнение или ее сброс при осушении осуществляется на каждом поле в структуре СПВ как составляющей мелиоративной системы, через систему соответствующих распределительных технических элементов (каналов или трубопроводов) низкого уровня подчиненности в структуре ГМС.

Отсюда прогнозные режимные и оптимизационные расчеты, а потом и разработка СПВ ОУС как на долгосрочной, так и краткосрочной основе выполняются последовательно, в соответствии с рассматриваемой многоуровневой иерархией начиная с самого низкого – уровня k , $\nu = 4$ (уровень БМ), через промежуточные уровни l , $\nu = 3$ (уровень БПУ) и j , $\nu = 2$ (уровень БУ) и, в конце концов, до самого ее уровня s , $\nu = 1$ (уровня системы).

К тому же все эти расчеты относительно уровня прогноза основываются на единой базе информационного обеспечения их выполнения, поскольку краткосрочные прогнозы природно-климатических и мелиоративных условий на объекте основываются, как правило, на сочетании данных многолетних ретроспективных наблюдений и предполагаемых (ожидаемых) оперативных данных краткосрочного прогноза природно-мелиоративных условий в течение текущего года.

Все это является достаточным основанием для постановки и решения задачи сквозного планирования водорегулирования при эксплуатации ОУС, то есть создания комплексной системы планового водорегулирования и реализации системы комплексной автоматизации планового водорегулирования осушаемых земель (СКАПВОС) на базе ЭВМ.

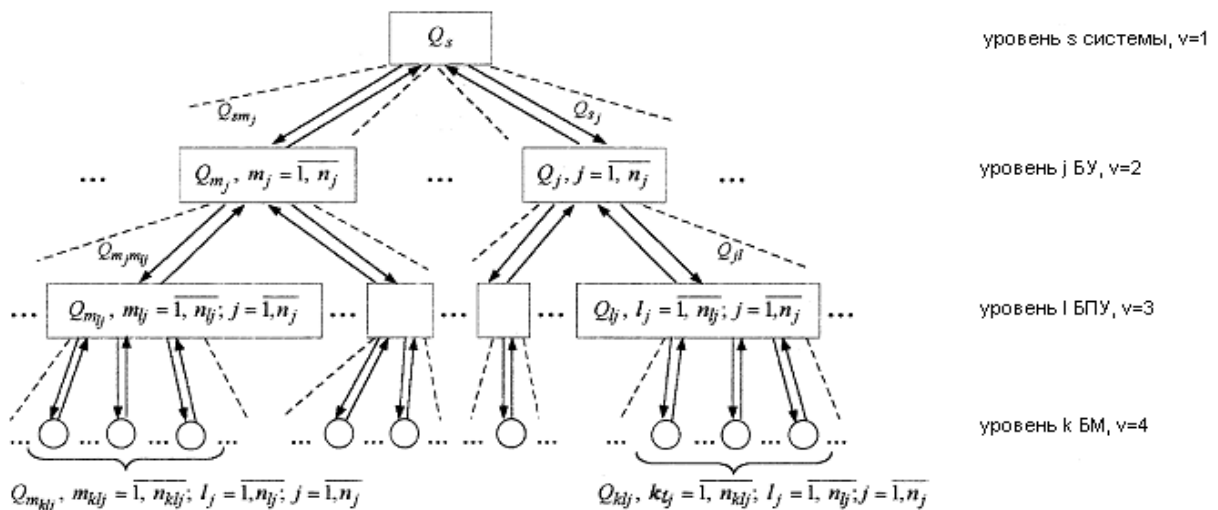


Рис. 24.2. Иерархическая структура ОУС и водораспределение на ней

Такая система основывается:

1) на разработке СПВ ОУС на долгосрочной основе на стадии технологической подготовки системы к следующему сезону;

2) реализации и корректировке СПВ ОУС в условиях реального года на основе краткосрочных прогнозов за счет создания и функционирования так называемых автоматизированных информационных систем (АИС) или информационно-советующей системы (ИСС) оперативного планирования водорегулирования (ОПВ).

В свою очередь, ИСС ОПВ ОУС реализуется в структуре более общих АСУ водохозяйственными объектами, поскольку выполнение инженерных прогнозно-оптимизационных расчетов по соот-

ветствующим моделям на указанных уровнях принятия решений во времени практически невозможно без использования современных мощных и компактных вычислительных средств из-за их чрезвычайной сложности, обусловленной многопараметренностью, многофункциональностью составляющих задач, значительной информативностью, объемами выполнения и т. д.

Согласно литературным источникам [10, 25 и др.] и накопленному опыту оптимизация водорегулирования и использования водных ресурсов на основе применения ЭВМ в современных условиях является важнейшей тенденцией в развитии мелиоративного производства вообще.

Разработка СПВ ОУС и ИСС ОПВ ОУС в структуре создания и реализации СКАПВОС – это самостоятельные, довольно сложные прогнозно-оптимизационные задачи научно-производственного характера, требующие основательного самостоятельного освещения. Но, поскольку практические аспекты и необходимые составляющие указанных задач достаточно широко представлены в соответствующих нормативах, научных и научно-технических публикациях [4, 12, 17, 18, 19–22, 31–34 и др.], в данной работе мы ограничимся рассмотрением только научных принципов и подходов их решения, а также основных результатов апробации и эффективности применения в условиях производства.

24.2. Разработка системных планов водорегулирования на долгосрочной основе

На основании обобщения отечественного и зарубежного опыта, а также выполненных исследований и разработок по комплексу оптимизационных и имитационных моделей прогнозной оценки на долгосрочной основе эффективности водорегулирования осушаемых земель в разных природно-мелиоративных условиях были разработаны принципы и структура построения комплекса моделей, необходимое методическое, информационное, организационно-техническое и программное обеспечение их реализации по разработке СПВ ОУС на стадии технологической подготовки системы к следующему сезону при ее эксплуатации.

При разработке СПВ ОУС задача сводится в конечном итоге к установлению сроков и объемов необходимых расходов воды для соответствующих способов водорегулирования по составляющим элементам (мелиорированным полям, регулирующим и подпорным гидротехническим сооружениям, каналам, трубопроводам, насосным станциям и т. п.) и системы в целом по всему спектру типичных схем погодных условий, рассчитанных по тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации. Задача выполняется с помощью построения и реализации соответствующих балансовых моделей, которые позволяют получить дифференцированную и интегральную оценку условий водопользования на объекте во времени и пространстве.

При этом СПВ ОУС разрабатываются в соответствии с предварительно рассмотренной общей универсальной структурой реализации прогнозно-оптимизационных расчетов на долгосрочной основе по схематизированным природно-мелиоративным условиям на конкретном объекте, с учетом многоуровневой иерархии их выполнения по технической и иерархической структуре построения системы (рис. 24.1, 24.2) в определенной последовательности по обобщающим блокам (рис. 24.3).

На первом этапе формируется и вводится в ЭВМ необходимая база исходных данных (рис. 24.3, блок 2) с природно-климатической, агротехнической, почвенно-мелиоративной, технической и экономической характеристиками рассматриваемого объекта. Главными источниками таких исходных данных являются материалы стандартной отчетности отделов мелиорации, гидрометрии или водопользования, агрохимических лабораторий, агрономических, планово-экономических и технических служб УОС.

На втором этапе выполняется комплекс прогнозных режимных расчетов по переменным естественно-агромелиоративным условиям исследуемого объекта (рис. 24.3, блок 3) соответствующих имитационных моделей.

Для каждого БМ (мелиорированного поля) внутри соответствующих БПД и БД системы при заданных (или определенных условием задачи) исходных условиях относительно плановых выращиваемых культур совокупности $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$, структуры и площадей их размещения $\{F_k\}$, $k = \overline{1, n_k}$, почвенных условий $\{g_k\}$, $k = \overline{1, n_k}$ и урожаяев, $\{Y_k\}$, $k = \overline{1, n_k}$, а также возможных способов водорегулирования осушаемых земель, совокупности $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ соответствующих типу, конструкции и водообеспеченности системы, выполняются прогнозные режимные расчеты на долгосрочной основе: по комплексу соответствующих моделей, моделированию типовых метеорологических режимов, водного режима осушаемых земель, схематизированных природно-мелиоративных условий, развития и формирования урожая культур в переменных природно-мелиоративных условиях их выращивания.

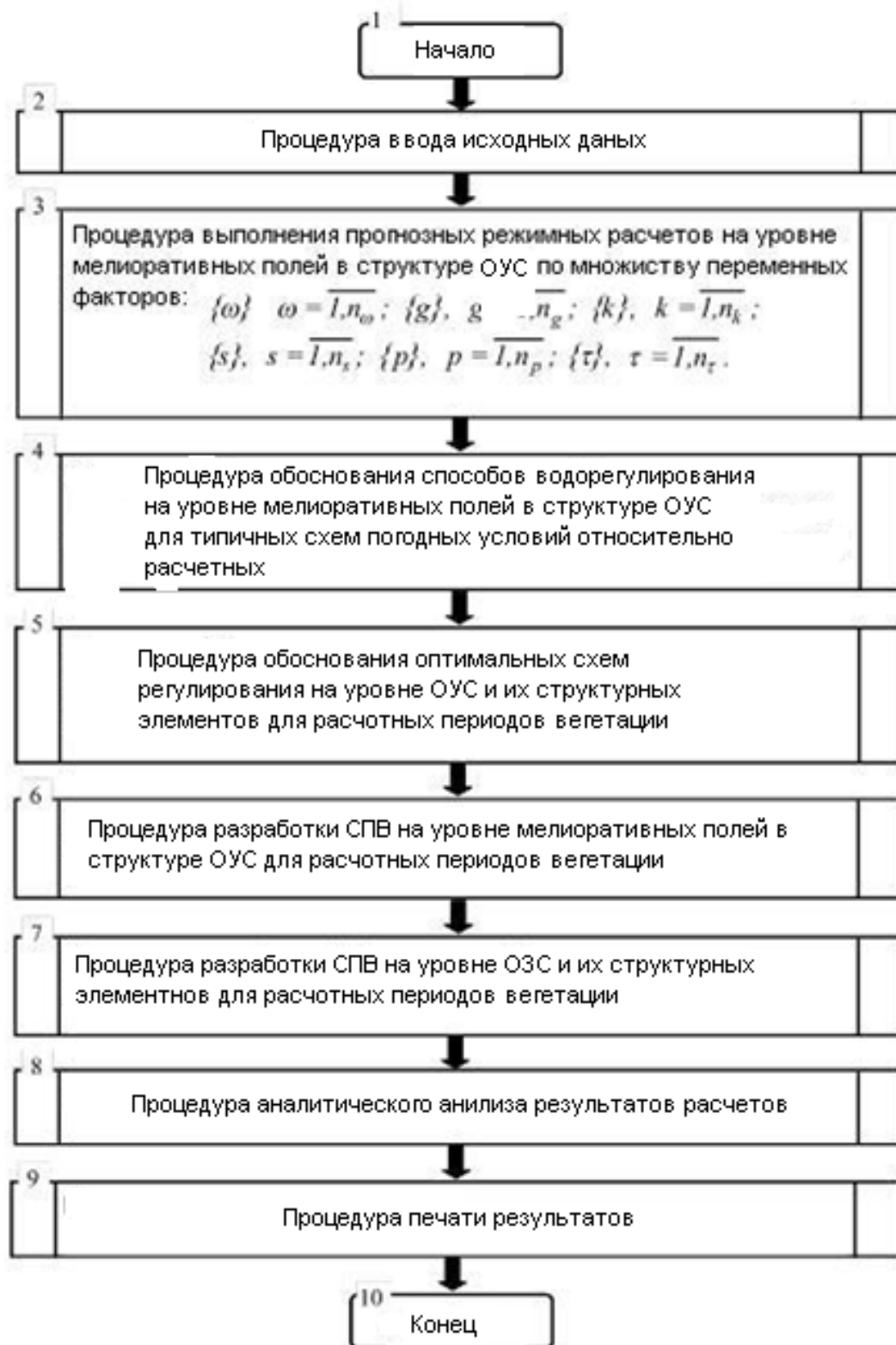


Рис. 24.3. Обобщенная структурная блок-схема по разработке СПВ ОУС

По результатам прогнозных режимных расчетов, на уровне каждого поля определяются необходимые технологические показатели исследуемых способов и режимов водорегулирования осушаемых земель (сроки и нормы подачи или отвода воды соответствующими технологиями), по которым в дальнейшем разрабатываются СПВ ОУС, определяются показатели водного и общего естественно-мелиоративного режима осушаемых земель для обоснования по соответствующим комплексным оптимизационным моделям экономической целесообразности и экологической приемлемости гидромелиоративных мероприятий, которые рассматриваются.

На третьем этапе, по результатам прогнозных режимных расчетов, выполняется комплекс расчетов для обоснования оптимальных способов, на уровне мелиорированных полей (БМ) в структуре ОУС (рис. 24.3, блок 4) и схем водорегулирования, на уровне структурных элементов (БПД, БУ) и системы в целом (рис. 24.3, блок 5), для типовых схем погодных условий относительно расчетных периодов вегетации.

Для этого путем реализации моделей оптимизации водорегулирования осушаемых земель на долгосрочной основе, принципы построения и реализации которых разработаны относительно соответствующего уровня принятия решений во времени на стадии плановой эксплуатации, обосновываются рациональные (экономически целесообразные и экологически приемлемые) способы (на уровне БМ, $\nu = 4$) и схемы водорегулирования по элементам (на уровне БПД, $\nu = 3$ и БД, $\nu = 2$) и системе в целом ($\nu = 1$) относительно технической и иерархической структуры ее построения (рис. 24.1, 24.2) для разных по расчетной влагообеспеченности периодов вегетации совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ ($n_p = 5$).

На четвертом этапе, по результатам оптимизационных расчетов, разрабатывается аналогичным образом СПВ на уровне мелиорированных полей в структуре ОУС (рис. 24.3, блок 6) и на уровне структурных элементов и системы в целом (рис. 24.3, блок 7) для расчетных периодов вегетации.

Для выбранной рациональной схемы работы в каждый расчетный по условиям тепло- и влагообеспеченности период вегетации совокупности $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ ($n_p = 5$) определяются общеупотребительными расчетными методами [19, 25, 26 и др.] в разрезе расчетных сроков совокупности $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ (декада, неделя или пентада) и на весь период вегетации нормы, расходы, модули и объемы подачи или сброс воды соответствующими принятыми способами водорегулирования для каждого элемента (на уровне БМ, $\nu = 4$; БПУ, $\nu = 3$; БУ, $\nu = 2$) и системы в целом ($\nu = 1$), а также каналов, трубопроводов, шлюзов-регуляторов, насосных станций и др. (в соответствии с технической и иерархической структурой ОУС), то есть разрабатывается СПВ ОУС.

В общем случае СПВ ОУС расходы (объемы) Q подачи или сброс воды по элементам системы в соответствии с уровнями иерархии их подчинения $\{\nu\}$, $\nu = \overline{1, n_\nu}$ (рис. 24.2), упуская с целью упрощения фиксированные значения индексов расчетных по влагообеспеченности периодов вегетации p , $p = \overline{1, n_p}$, способов водорегулирования s , $s = \overline{1, n_s}$ и расчетных сроков времени τ , $\tau = \overline{1, n_\tau}$ можно представить такими моделями водораспределения [14 и др.]:

– на уровне системы, $\nu = 1$

$$Q_s = \sum_{j=1}^{n_j} Q_{sj}; \quad (24.1)$$

– на уровне БУ, $\nu = 2$

$$Q_{sj} = Q_j = \sum_{l=1}^{n_{lj}} Q_{lj}, \quad j = \overline{1, n_j}; \quad (24.2)$$

– на уровне БПУ, $\nu = 3$

$$Q_{lj} = Q_j = \sum_{k=1}^{n_{k_{lj}}} Q_{ljk_{lj}}, \quad l_j = \overline{1, n_{l_j}}; \quad j = \overline{1, n_j}; \quad (24.3)$$

– на уровне БМ, $\nu = 4$

$$Q_{ljk_{lj}} = Q_{k_{lj}}, \quad k_{lj} = \overline{1, n_{k_{lj}}}; \quad l_j = \overline{1, n_{l_j}}; \quad j = \overline{1, n_j}. \quad (24.4)$$

Следовательно, расходы (объемы) воды определяются в пределах соответствующих БМ, БПУ и БУ по иерархической подчиненности структурных рассматриваемых элементов системы.

Для современных систем двустороннего действия зоны достаточного и неустойчивого увлажнения по их технической и иерархической структуре построения (рис. 24.1, 24.2) возможны три следующие основные схемы распределения воды из водоисточника [14, 18 и др.]:

I – одновременный групповой забор воды из наливного водохранилища, водохранилища, пруда или водозаборных скважин с помощью насосной станции или других водозаборных сооружений;

II – последовательная (каскадная) подача воды по трассе магистрального канала (увлажняющий канал или трубопровод) с последующим ее распределением на подкомандную территорию через русловые шлюзы и распределительные каналы (или насосные станции и трубопроводы).

III – комбинированная (сочетание I и II схем).

Поскольку при разработке СПВ ОУС задача сводится в итоге к установлению величин необходимых расходов воды брутто относительно составляющих элементов и системы в целом, для групповой схемы водораспределения при увлажнении (схема I) в соответствии с моделью (24.1) решение будет таким

$$Q_s^I = \sum_{j=1}^{n_j} \left(\frac{1}{\eta_j} \right) Q_{sj} + Q_s^II - Q_s^III \quad (24.5)$$

где η_j – к.п.д. элементов проводящей сети системы на уровне БУ ($\nu = 2$) системы;

Q_s^II – поступление воды в систему из других источников (боковые притоки);

Q_s^III – забор воды из системы на другие нужды.

В свою очередь, в соответствии с моделью (24.2)

$$Q_{sj} = Q_j = \sum_{l=1}^{n_{lj}} \left(\frac{1}{\eta_l} \right) Q_{lj} + Q_j^II - Q_j^III, \quad j = \overline{1, n_j} \quad (24.6)$$

где все составляющие модели аналогичны предыдущей, но относятся к разряду БПУ ($\nu = 3$) системы.

Дальнейшая детализация данных расчетов по другим уровням системы будет аналогична модели (24.3) и т. д.

При *каскадном* (II схема) распределении воды на системе, которая является самой распространенной в практике увлажнения осушаемых земель, расход воды брутто в первой по порядку БД в устьевой части магистрального канала определяется как сумма расходов на данном Q_j и предыдущих

$\sum_{j=1}^{n_j-1} Q_j$ участках системы. Поэтому для любого участка и системы в целом в данном случае

$$Q_s^{II} = Q_{sj} = \frac{1}{\eta_j} \left(Q_j + \sum_{j=1}^{n_j-1} Q_j \right), \quad j = \overline{1, n_j}. \quad (24.7)$$

Необходимые составляющие модели (24.7) определяются по рассмотренным ранее соответствующим зависимостям вида (24.4) и (24.5) относительно технической и иерархической структуры построения системы.

При *комбинированной* схеме распределения воды (схема III) расчеты производятся отдельно по каждой из рассмотренных предыдущих схем с последующим суммированием полученных результатов

$$Q_s^{III} = Q_s^I + Q_s^{II} \quad (24.8)$$

При разработке СПВ ОУС реальных объектов расходы (объемы) воды определяются для конкретных регулирующих сооружений (шлюзов-регуляторов, насосных станций и т. п.) в распределительных узлах магистрального канала или трубопровода на уровне БУ, каналов или трубопроводов проводящей сети системы на уровне БПУ, мелиорированных полей с выращиваемыми на них сельскохозяйственными культурами на уровне БМ, что представлены соответствующими шифрами.

Другие блоки обобщенной структурной блок-схемы по разработке СПВ ОУС (рис. 24.3, блоки 8–9) включают в себя стандартные процедуры аналитического рассмотрения результатов расчетов и их вывода на печать. При необходимости распечатываются все нужные как промежуточные, так и окончательные результаты выполненных прогнозно-оптимизационных расчетов, а также составляющие СПВ ОУС в расчетные по влагообеспеченности периоды вегетации по элементам и системе в целом.

Как мы уже отмечали, СПВ ОУС могут разрабатываться и рассматриваться в составе СКАПВОС как самостоятельное задание для выработки стратегии управления системой при неопределенных природно-климатических условиях на следующий сезон. Но они также могут служить необходимой нормативно-информационной базой для создания и функционирования ИСС ОПВ ОУС в условиях текущего года.

24.3. Информационно-советующие системы оперативного планирования водорегулирования

24.3.1. Организационно-технические мероприятия по обеспечению реализации ИСС ОПВ ОУС. Как убедительно свидетельствует зарубежный и отечественный опыт, эффективное управление мелиоративными объектами как сложными природно-техническими системами на стадии их эксплуа-

тации в условиях текущего года практически невозможно без создания АИС на базе ЭВМ. Такие автоматизированные системы позволяют в оперативном режиме воспринять и переработать множество необходимой информации природно-климатического, агротехнического, мелиоративного, технического и иного характера при выработке оптимальных управленческих решений. Поэтому они уже созданы и успешно функционируют в зоне оросительных мелиораций многих стран мира, в том числе в США, Германии, Канаде, Израиле, Болгарии, отдельных республиках бывшего СССР и др. [2, 4, 6, 7 и др.]. В Украине была создана в ИГиМ УААН и хорошо зарекомендовала себя в производственных условиях ИСС ОПВ управления орошением, разработанная под руководством доктора технических наук, профессора В. П. Остапчика [5, 6].

Бесспорно, нужны аналогичные управляющие системы на мелиоративных объектах двустороннего действия в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения с присущим для них значительно более сложным характером условий формирования водного режима осушаемых земель.

Комплексные научно-исследовательские работы по разработке таких систем на осушаемых землях в Украине были начаты в середине 80-х годов доктором технических наук, профессором Н. А. Лазарчуком [17, 20].

Учитывая, что комплекс вопросов для задач управления и оптимизации водорегулирования осушаемых земель в оперативном режиме выходит за рамки данной работы, а также то, что научные и практические аспекты создания и реализации ИСС ОПВ ОУС достаточно широко представлены в соответствующих публикациях [4, 17, 20, 21, 31, 34], ограничимся лишь общей характеристикой данной разработки.

ИСС ОПВ ОУС предназначена для повышения оперативности, качества и эффективности водорегулирования, а также совершенствования водопользования при увлажнении осушаемых земель за счет повышения уровня технической эксплуатации систем двустороннего действия на базе метеорологических и гидрологических краткосрочных прогнозов в оперативном режиме при установлении гидромелиоративной обстановки в условиях текущего года.

Разработаны структура, принципы действия, комплекс моделей, методов и информационного обеспечения по их реализации, а также комплект программных средств и комплекс организационно-технических мероприятий для создания и функционирования ИСС ОПВ ОУС, обеспечивающих устойчивое решение практически для всех имеющихся типов систем двустороннего действия на осушаемых землях следующих основных задач, представленных на рисунке 24.4:

01. Прогнозирование фенологических фаз развития выращиваемых сельскохозяйственных культур.
02. Расчет водного режима и водного баланса активного слоя почвы с определением всех необходимых составляющих.
03. Оптимизация водораспределения по элементам и системе в целом в случае нехватки водных ресурсов.
04. Расчет расходов и объемов воды по элементам и системе в целом с определением необходимых режимов работы регулирующих гидротехнических сооружений и насосных станций на распределительной сети ведущих каналов, трубопроводов и т. д.
05. Накопление и выдача инженерно-техническому персоналу ОУС и его подразделениям отчетной информации о состоянии функционирования системы на текущий и прогнозируемый периоды, а также рекомендаций по управлению ею.

Организационная структура выполнения прогнозно-оптимизационных расчетов для ИСС ОПВ ОУС на краткосрочной основе по соответствующим моделям при решении перечисленных задач является полностью тождественной рассматриваемой аналогичной структуры при разработке СПВ ОУС на долгосрочной основе, они выполняются также по технической и иерархической структуре построения системы.

Однако в отличие от них указанные расчеты производятся посуточно в недельном разрезе периода вегетации текущего года, что очень удобно с точки зрения режима работы обслуживающего персонала ОУС в таком сменно-шаговом прогнозном и ретроспективном режимах.

Поскольку точность прогнозных расчетов в оперативном режиме определяется прежде всего оправданностью ожидаемого краткосрочного метеопрогноза на следующую неделю, то для устранения возникающих ошибок после того, как эта неделя прошла, повторно выполняются все необходимые режимные и другие расчеты по измеренным ретроспективным фактическим значениям метеорологических, агрометеорологических, мелиоративных и других факторов. Кроме того, для реализации следующих шагов оперативного управления осуществляется обратная связь, то есть выполняется периодический контроль УГВ, влажности почвы, фенофазы выращиваемых культур, объемов и расходов воды через натурные замеры на системе и т. п.

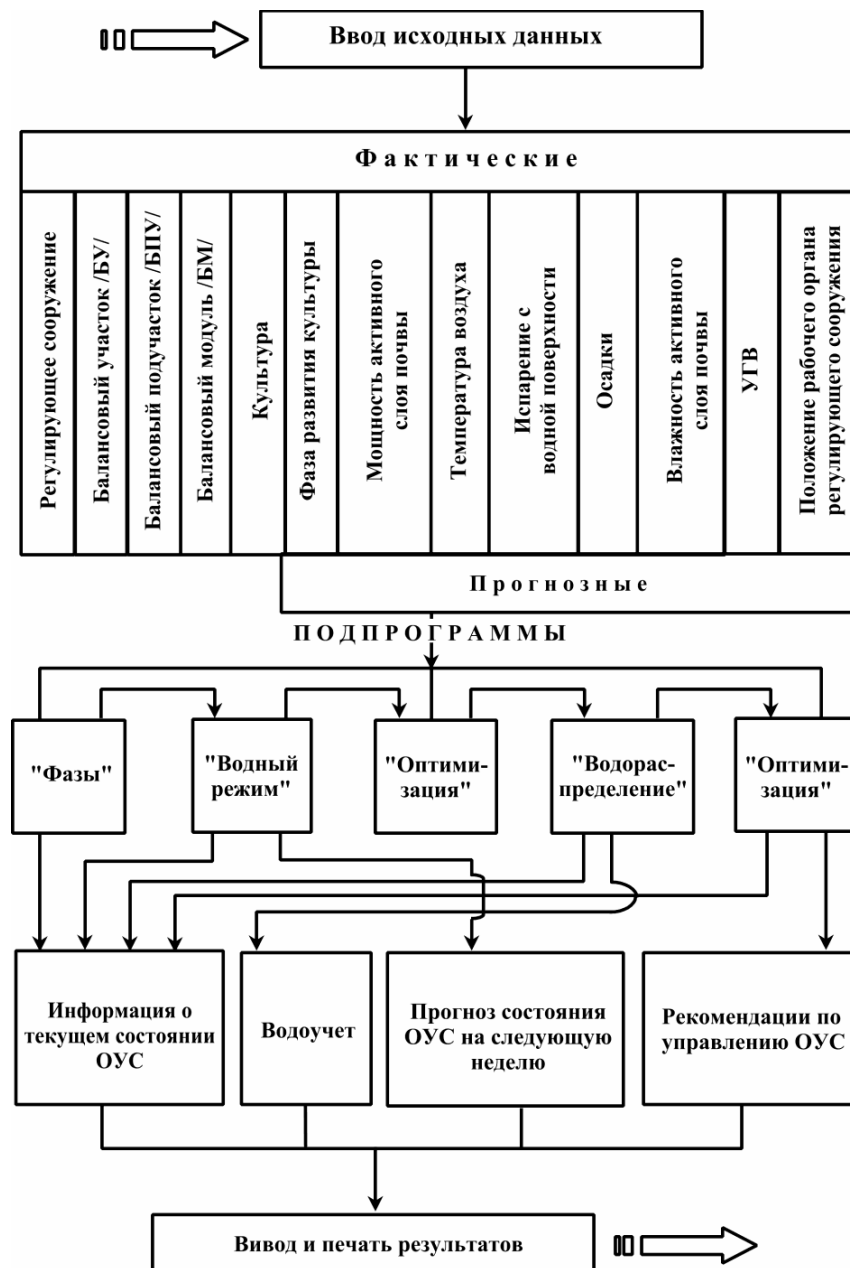


Рис. 24.4. Структурная схема ИСС ОПВ ОУС

Реализация ИСС ОПВ ОУС включает следующее:

1. Сбор и первичная обработка исходных данных по фактическому составу и структуре посевов выращиваемых сельскохозяйственных культур на мелиорированных полях, фаз их развития в онтогенезе, стартовой и текущей влажности активного слоя почвы, УГВ по режимным скважинам гидрометриоративных створов наблюдательной сети, положению рабочих органов регулирующих гидротехнических сооружений в распределительных узлах системы, информации о температуре воздуха, осадках, испарении и т. п.

2. Реализация на ЭВМ разработанных математических моделей режимных, водобалансовых и оптимизационных расчетов по ожидаемым прогнозным и наблюдаемым фактическим ретроспективным данным по элементам и системе в целом с выработкой рекомендаций по управлению затворами шлюзов-регуляторов, работой насосных станций, сбросных сооружений и т. д.

3. Выполнение полученных рекомендаций имеющимся инженерно-техническим персоналом УОС и его структурных подразделений (эксплуатационных участков). При этом нет необходимости в увеличении численности работников службы эксплуатации.

По организационно-технической структуре построения, режимам функционирования, уровню и эффективности решаемых задач ИСС ОПВ ОУС практически полностью удовлетворяет тем требованиям, которые выдвигаются при оперативном управлении водорегулированием и водораспределением.

ем на осушаемых землях при эксплуатации систем двустороннего действия в условиях текущего года по имеющимся природно-агротелиоративным условиям конкретного объекта.

24.3.2. Информационное обеспечение ИСС ОУС. Основой функционирования ИСС ОУС являются данные гидрометрических наблюдений на системе в ряду с агроклиматической информацией. В состав основных гидрометрических работ входит контроль за водным режимом почв на системе (положение УГВ и влажность почв) и поддержка их в нужных пределах в течение вегетационного периода, измерения уровня и расхода воды в каналах, регулирующих сооружений (РС) осушительной системы, напора и расхода воды насосных станций и трубопроводов и т. д.

Перечень основных мероприятий, которые необходимо выполнить для функционирования ИСС ОУС, приведены в таблице 24.1.

Гидротелиоративные створы на балансовых участках называют таким образом, чтобы они реально отражали урвневый режим грунтовых вод в пределах балансового участка.

На РС должны измеряться следующие параметры:

- расстояние от верха береговой опоры (желтой линии, нанесенной на береговой опоре) до верха затвора;
- расстояние от репера (значка R_p , нанесенного на береговые опоры в верхнем бьефе) до уреза воды в верхнем бьефе;
- отсчет по установленной рейке (напор) в верхнем бьефе РС;
- величина перелива через затвор РС, измеренная мерной рейкой.

В период вегетации необходимо обеспечить безусловное и своевременное выполнение рекомендаций ИСС по управлению регулируемыми ГТС путем установки положения затвора РС согласно рекомендациям.

О необходимости снижения УГВ на любом балансовом участке в связи с проведением агротехнических мероприятий необходимо сообщать до начала проведения расчетов, также желательно сообщать уровни грунтовых вод на балансовом участке. При необходимости снизить УГВ на некоторой части балансового участка, если технически это возможно, понижение следует выполнять подпорными и сбросовыми сооружениями и каналами боковой сети.

С началом работы ИСС после проведения весенне-полевых работ по команде необходимо закрыть сбросные сооружения и выставить затворы РС на рекомендованное положение. По мере наполнения каналов необходимо регулировать подпорные сооружения, начиная со сбросных сооружений и продвигаясь к голове водозабора. При проведении наладочных работ, ремонтных и других работ на РС необходимо определить положение затвора и после окончания работ поставить его в прежнее положение.

При изменении положения затвора больше, чем на 0,5 суток на значительную величину $> 0,3$ м, необходимо информировать управление с целью предотвращения аварийной ситуации. Информация обо всех неплановых измерениях положения затворов РС, отклонений от рекомендованных должна попадать в управление немедленно.

Необходимо организовать сбор информации о работе насосных станций с указанным сроком работы и расходов, а также обеспечить учет воды на водопропускных сооружениях водохранилища, которое выступает в качестве источника воды для увлажнения, и попадания этой информации в управление.

Необходимыми условиями нормального функционирования ИСС ОУС являются полнота и достоверность оперативной информации, обработка и передача которой происходит на трех уровнях.

На уровне ЭУ гидрометеорологи-агрономы осуществляют сбор, первичную обработку и контроль информации на каждом обслуживаемом БУ системы. Собранная информация передается через диспетчерскую службу в ОУС.

В управлении эксплуатации прием, обработку и контроль информации по каждой ЭУ выполняют специалисты отдела водопользования и агрохимлаборатории. Собранная информация передается в информационно-вычислительный центр УОС.

В вычислительном центре операторы осуществляют прием, обработку, контроль информации и проводят расчеты на ЭВМ.

Исходная информация в виде свода расчетов и рекомендаций по оптимальному управлению системой поступает потребителям через диспетчерскую службу в обратном порядке. Исходя из условия автоматизации обработки информации о состоянии ОУС с целью выработки оптимальных решений по ее управлению, в основной период (вегетационный) наблюдение за водным режимом на системе и выполнение гидрометрических измерений целесообразно проводить еженедельно в заранее оговоренный фиксированный день недели.

Перечень основных мероприятий необходимых для функционирования ИСС ОУС

№ п/п	Наименование мероприятий	Необходимые результаты	Ответственные за выполнение	Период выполнения
1	Устройство колодцев ГМС и подготовка их к измерениям УГВ	Бурение и обозначения в соответствии с требованиями колодцы ГМС	Обозреватель-регулятор ЭУ	Подготовительный период (до апреля текущего года)
2	Нивелирование всех ГМС, гидростворов, регулирующих и сбросных сооружений с привязкой к постоянным реперам	Абсолютные отметки поверхности земли, колодцев ГМС, порогов регулирующих сооружений и сбросных, верха коробчатых затворов на каналах боковой сети	Служба водопользования ОВС и ЭД	Подготовительный период (по мере необходимости)
3	Оснащение водозаборных и сбросных сооружений простейшими измерителями типа рельсы, с разметкой или водоучетными приборами	Размеченные или стандартные рельсы со стороны верхних (а при необходимости и нижних) бьефов водозаборных и сбросных сооружений. Ноль рейки должен соответствовать отметке порога сооружения	Отдел водопользования УОС и специалисты технических служб	Подготовленный период
4	Проведение тарифовочных работ на всех гидротехнических сооружениях и гидроствах, метеорологическое обслуживание используемых приборов и устройств	Тарифовочные кривые зависимости расхода от глубины воды в каналах, напоров на сооружениях, давления в трубопроводах и т.д. техническая исправность водомерных приборов и устройств	–	–
5	Установление водно-физических свойств почв на каждом БМ	Влажность почв, соответствующая НМОВ и ГПВ, их объемная масса, пористость и др.	–	–
6	Сбор данных о структуре посевов и плановой урожайности выращиваемых с/х культур	По всем БМ: вид, площадь, сроки посевов и плановых урожаев с/х культур	Ведущий или главный агроном ОУС вместе с гидрометеорологом и участковым гидротехником ЭУ	–
7	Проведение всех видов гидрометрических замеров на ГМС, гидрост, регулирующих и сбросных сооружениях, насосных станциях и др. Сбор и своевременная передача полной и достоверной информации службе водопользования ОВС	Данные гидрометрических измерений по глубине стояния УГВ на ГМС, уровней воды в каналах и водоемах, напоры на регулирующих и сбросных сооружениях, время работы Н.С. и т.д.	Гидрометеорологи-агрономы, участковые инженеры гидротехники и обходчики ЭУ, специалисты других подразделений	Основной период (апрель-октябрь текущего года). Замеры проводят ежедневно в оговоренный фиксированный день недели
8	Замеры атмосферных осадков	Данные о днях недели и величины осадков выпавших на БУ	Гидрометеорологи-агрономы БУ	–
9	Проведение замеров по определению испаряемости с водной поверхности	Ежедневные данные о величине испарения с водной поверхности по приборам ГГИ	Агрохимлаборатории ОВС	–
10	Определение влажности почв	Данные контрольных отборов влажности расчетного слоя почвы на БМ	Агрохимлаборатории ОУС	– Примечания. Отбор проводится так, чтобы контроль на каждом БУ был хотя бы один раз в месяц
11	Анализ работы системы, составление водохозяйственного баланса за основной период	Результаты анализа по эффективности работы ОУС, водохозяйственный баланс системы	Служба водопользования ОУС и другие специалисты	Заключительный период (ноябрь-декабрь текущего года)

24.4. Реализация планового водорегулирования в производственных условиях

24.4.1. Комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению реализации планового водорегулирования. Успешная реализация отдельных составляющих и СКАПВОС в целом в производственных условиях возможна благодаря обязательному исполнению комплекса организационно-технических мероприятий, включающих в себя организацию прежде всего эксплуатационной гидрометрии на ГМС и создание соответствующих подразделений с четким распределением обязанностей инженерно-технического персонала УОС.

Организация эксплуатационной гидрометрии при функционировании ОУС в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения предусматривает, главным образом, решение основных задач по регулированию и контролю водного режима осушаемых почв для обеспечения требований к нему выращиваемых сельскохозяйственных культур и окружающей среды, а также осуществления водоучета на системе.

Данные ретроспективных и текущих гидрометрических наблюдений вместе с агроклиматической и другой информацией являются основой разработки СПВ ОУС на долгосрочной основе и функционирования ИСС ОПВ ОУС в составе СКАПВОС.

При отсутствии конкретных рекомендаций и документов нормативного характера, определяющих условия проведения гидрометрических работ на системах двустороннего действия в зоне осушительных мелиораций, были разработаны принципы организации, описаны имеющиеся способы и современные устройства с элементами автоматизации для выполнения гидрометрических наблюдений при эксплуатации ОУС [21].

Виды, структура, объемы необходимой сезонной и справочно-нормативной информации по разработке СПВ ОУС на долгосрочной основе регламентированы в литературе [19].

Основой функционирования ИСС ОПВ ОУС при реализации и корректировке СПВ в условиях текущего года, наравне с агроклиматической информацией, являются оперативные данные гидрометрических наблюдений на системе. В состав основных гидрометрических работ здесь входит периодический контроль за водным режимом почв на мелиорированных полях (влажность почвы и положения УГВ) и поддержание их в нужных пределах в течение периода вегетации выращиваемых культур, замеры уровня и расхода воды в каналах, положений затворов, уровней и расходов воды на шлюзах-регуляторах, напора и расхода воды насосных станций, трубопроводов и т. д.

Для обеспечения функционирования ИСС ОПВ ОУС собраны соответствующие виды, структура, объемы необходимой справочно-нормативной, сезонной и оперативной информации, а также разработан комплекс организационно-технических мероприятий, включающий виды, состав работ, необходимые результаты, сроки их проведения и ответственных исполнителей, что рассмотрено детально в научной литературе [20].

Для автоматизации сбора и передачи нужной информации при осуществлении контроля и управления ОУС целесообразно по мере необходимости и возможности использовать современные средства на базе микропроцессорной техники, телемеханические устройства и комплексы, образцы которых рассмотрены в научных источниках [21].

Информация о гидрометрии (оперативная и консультативно-информационная) передается периодически, по необходимости пользователей, по диспетчерским линиям связи от уровня эксплуатационных участков до уровня УОС и дальше – до уровня облводхозов.

На всех уровнях необходимо разработать и ввести журналы учета эксплуатационной гидрометрии. Введение единых форм бланков и технических паспортов для создания наблюдательной режимной сети скважин, поля севооборотов, гидротехнических сооружений, насосных станций и др. должно способствовать унификации методики и стандартизации средств проведения сбора, передачи и обработки всех видов информации, которые необходимы для создания и реализации СКАПВОС и ее составляющих.

24.4.2. Производственная апробация разработок по плановому водорегулированию и их эффективности. Внедрение планового водорегулирования посредством выполнения автоматизированных с помощью ЭВМ прогнозно-оптимизационных режимных расчетов на долгосрочной и краткосрочной основе позволяет подвести ту необходимую научную базу и реализовать на практике такую стратегию и тактику водорегулирования при эксплуатации ОУС, которые будут удовлетворять постоянно растущим требованиям к эколого-экономической целесообразности их создания и функционирования как в современных условиях, так и в будущем.

В первую очередь, разработанную СКАПВОС в целом (или отдельные ее составляющие) целесообразно использовать на технически совершенных системах двустороннего действия с гарантированным водоснабжением. В Украине площадь таких систем из общей площади осушаемых земель

почти 1,1 млн га с возможным двойным водорегулированием составляет около 200 тыс. га. Крупнейшие из них – Ирпенская ОУС и Трубежская ОУС, расположенные в Киевской области.

Реализация рассмотренных научно-технических разработок по организации планового водорегулирования из-за их сложности и значительных объемов осуществлялись поэтапно, в соответствии с планами научно-исследовательских работ Госводхоза Украины.

На первом этапе были разработаны модели и методика выполнения прогнозных режимных расчетов на долгосрочной основе, необходимое методическое, информационное и программное обеспечение по их реализации на ЭВМ при составлении СПВ ОУС. Эта разработка в течение 1988–1990 гг. прошла производственную апробацию на системах двустороннего действия в Киевской, Житомирской и Ровенской областях Украины на площади около 30 тыс. га. Обобщенная характеристика полученных результатов по разработке СПВ ОУС на различных исследуемых объектах приведена в таблице 24.2.

На втором этапе, в развитие предыдущих исследований, были разработаны структура построения, принципы действия, методическое, информационное, программное и организационно-техническое обеспечение по реализации ИСС ОПВ ОУС. Данная разработка вместе с СПВ ОУС в структуре СКАПВОС была впервые внедрена и прошла производственную проверку в течение 1989–1991 гг. на площади 8 тыс. га Ирпеньской ОУС в Киевской области.

Целесообразность выбора данного объекта обусловлена тем, что после реконструкции Ирпенская ОУС представляет собой сложный водохозяйственный комплекс (табл. 24.2), который обслуживает 28 хозяйств-землепользователей; протяженность системы превышает 130 км; на площади 6758 га предусмотрено подпочвенное увлажнение подпора уровней воды в р. Ирпень (она же водоприемник) с помощью 13 русловых шлюзов с последующим распределением воды по каналам боковой сети в коллекторно-дренажную сеть. Вода для увлажнения поступает из Корнинских водохранилищ в верховьях системы, а в устьевой части р. Ирпень она перекачивается насосной станцией в Киевское водохранилище по польдерному принципу.

Управление системой и организация водочета на ней значительно усложняются из-за многочисленных боковых притоков по трассе магистрального канала, системы водоемов и водохранилищ, насосных станций, предназначенных для забора воды на орошение земель, прилегающих к Ирпенской ОУС на площади около 4 тыс. га.

Очевидно, что эффективное управление водорегулированием и водопользованием в пределах такого сложного мелиоративного объекта, которым является Ирпенская ОУС, возможно только на плановой основе. Поэтому разработаны структура, принципы, методические и программные средства, а также организационно-технические мероприятия по созданию СКАПВОС в целом, куда входит разработка СПВ ОУС на ЭВМ, их реализация и корректировки в условиях реального года на базе функционирования ИСС ОПВ ОУС, прошли производственные испытания на базе Ирпенского УОС, обслуживающего ОУС.

Для наглядности оценки эффективности планового водорегулирования на базе СКАВПОС в условиях реального объекта рассмотрим основные моменты разработки СПВ ОУС и функционирования ИСС ОПВ ОУС по отдельным фрагментам итоговых результатов по их реализации в прогнозном (для расчетного сухого, $p = 4$ периода вегетации) и реальном (период вегетации 1991 г., $p = 4$.) режимах водорегулирования на одном из балансовых участков Ирпенской ОУС (РШ-7) (рис. 24.5).

При разработке СПВ ОУС по общей структуре использованы такие исходные данные и условия:

– как объект управления рассмотрен балансовый участок площадью нетто $F = 610$ га, подчиненный русловому шлюзу РШ-7 Ирпенской ОУС (рис. 24.5);

– почвы на объекте торфяные, основные агрогидрологические характеристики РШГ $h = 0,5$ м: $WPh_g^0 = 69,0$ мм; $WPh_g^* = 34,5$ мм; $WPh_{\tau} = 66,0$ мм при $p = 4$;

– культура: многолетние травы на зеленую массу, $Y_{kp}^0 = 37,6$ т/га;

– способ водорегулирования: увлажняющее шлюзование длительным подпором уровня воды; общий КПД использование увлажняющей воды в пределах балансового участка $\eta_j = 0,7$;

– метеорологическое обеспечение режимных расчетов реализовано по модели прогнозной оценки на долгосрочной основе типовых схем климатических условий местности при отсутствии данных многолетних наблюдений;

– прогнозная оценка режимных и технологических характеристик водорегулирования осушаемых земель для рассматриваемых естественно-агробиологических условий исследуемого объекта выполнена по соответствующей модели водобалансовых расчетов;

– прогнозная оценка величины эффективной (действительно возможной) урожайности выращиваемой культуры для рассматриваемых условий выполнена по соответствующей модели.

Сравнительная характеристика по способам и нормам увлажнения брунто в засушливые годы вегетации ($p=4.5$) для исследования объекта

Объекты	Общая площадь, га	Почвы	Возможно увлажнение, га	Способ увлажнения	Целесообразно увлажнять, га	Поливные нормы, т, м ³ /га	Увлажняющие нормы М, м ³ /га	Максимальный расход воды, т/ах, млн м ³
Ирпеньская ОУС Киевская обл.	8058,0	преимущественно торфяные	6758,0	увл. шлюз., s=3	5240,0	100...400	600...3000	15,7
ОУС в пойме р. Здвиж Киевской обл.	7755,0	-	7474,0	увл. шлюз., s=3	4789,0	100...250	600...2500	16,0
Барышевский участок Трубежское ОУС Киевской обл.	5421,0	-	3633,0 923,0	увл. шлюз., s=3 увл. шлюз., s=6	3183,0 210,0	100...400 250...300	600...3000 600...1800	9,74
ОУС «Марьяновка» Ровенской области	1049,0	-	1023,0	увл. шлюз., s=3	848,0	50...250	1000...2000	1,64
Опытно-производственный стационар ИСГ «Полесье» УААН, с. Грозное Коростенского района Житомирской обл.	6145,0	супесчаные	228,0 140,0	увл. шлюз., s=3 увл. шлюз., s=6	228,0 140,0	100...200 250...300	400...700 500...1000	0,18

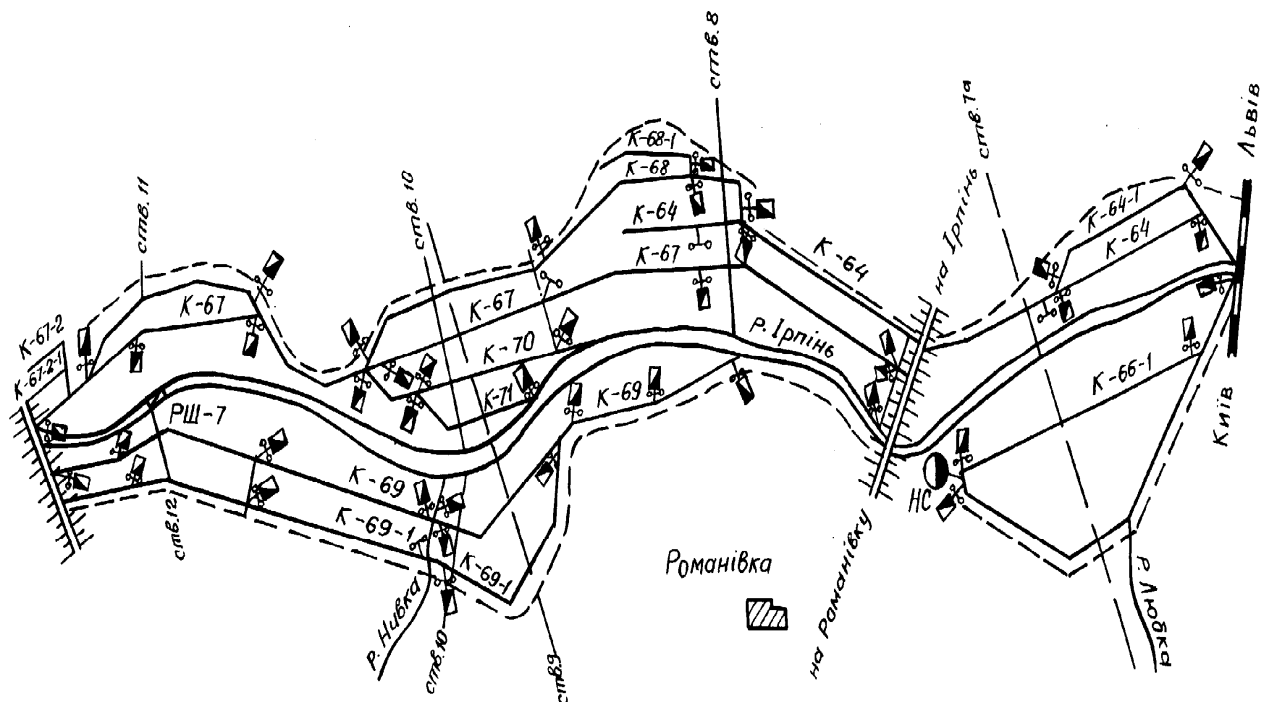


Рис. 24.5. Схема балансового участка, подчиненной РШ-7 Ирпеньской ОУС

Фрагмент прогноза режимно-технологических характеристик увлажняющего шлюзования на уровне мелиоративного поля в структуре разработки СПВ Ирпенской ОУС

Месяц	Декада, τ	Режимно-технологические параметры (нетто), мм							Показатель уровня урожайности, β^Y
		WPh	P	EV	EP	VVh	VP	m	
апрель	10	69,0	7,7	6,4	6,4	2,3	1,7	0	1,000
	11	69,0	10,3	6,4	6,4	2,3	-3,9	0	1,000
	12	69,0	10,3	12,8	12,8	4,6	2,5	0	1,000
май	13	44,1	10,3	38,4	37,9	13,8	2,7	0	0,993
	14	42,5	12,9	44,7	37,8	16,1	23,4	13,7	0,930
	15	42,6	12,9	44,7	37,4	16,1	24,7	15,0	0,885
июнь	16	42,6	12,9	44,7	37,4	16,1	24,6	14,9	0,853
	17	42,8	15,4	44,7	37,8	16,1	22,5	12,8	0,828
	18	42,8	15,4	44,7	37,8	16,1	22,4	12,7	0,808
июль	19	42,9	18,0	44,7	38,1	16,1	20,3	10,6	0,792
	20	42,7	20,6	51,1	43,6	18,4	22,8	11,8	0,776
	21	42,8	15,4	44,7	37,8	16,1	22,4	12,8	0,764
август	22	42,8	15,4	44,7	37,8	16,1	22,4	12,7	0,753
	23	42,6	12,9	44,7	37,5	16,1	24,5	14,8	0,742
	24	42,5	10,3	44,7	37,1	16,1	26,7	17,0	0,732
сентябрь	25	42,1	10,3	38,4	32,0	13,8	21,3	13,0	0,724
	26	42,9	10,3	25,6	21,6	9,2	12,2	6,7	0,720
	27	46,9	10,3	12,8	11,1	4,6	4,8	0	0,718
За вегетацию:		46,9	231,6	638,9	548,3	230,0	298,0	168,5	0,718

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения:

WPh – запас продуктивной влаги РСП;

P – осадки;

EV – потенциальное суммарное испарение;

EP – эффективное суммарное испарение;

VVh – потенциальная величина питания;

VP – эффективная величина влагообмена в виде инфильтрации ($-Vh$) или питания ($+VPh$);

m – поливная норма;

β^Y – показатель уровня развития культуры (урожайности).

Размер последнего определен как

$$Y_{ksp} = Y_{kp}^0 \cdot \beta_{ksp\bar{\tau}}^Y = 37,6 \cdot 0,718 = 27,0 \text{ т/га}, \quad (24.9)$$

где Y_{ksp} – эффективная урожайность выращиваемой культуры в заданных природно-мелиоративных условиях;

Y_{kp}^0 – потенциальная (климатически и агротехнически обеспеченная) урожайность культуры, в данном случае равна 37,6 т/га;

$\beta_{ksp\bar{\tau}}^Y$ – общий (на конец вегетации $\bar{\tau}$) показатель уровня развития культуры по рассмотренным природно-мелиоративным условиям, который по данным таблицы 24.3 равен 0,718.

Здесь рассматривается решение оптимизационной задачи по обоснованию рациональных способов, схем и режима водорегулирования осушаемых земель на эколого-экономических основах. Это самостоятельная сложная научно-техническая задача, которая может быть решена с разработанными принципами и подходами. Но она еще находится в стадии разработки и пока не доведена до уровня производственной реализации. Поэтому определенный проектный режим водорегулирования разработан и соответственно рассматривается на уровне *необходимости* и технической *возможности* реализации увлажняющего шлюзования в условиях исследуемого объекта, но не рассматривается уровень эколого-экономической *целесообразности* его реализации.

По определенным режимно-технологическим характеристикам проектного режима увлажнения осушаемых земель, на уровне мелиорированных полей определяются его основные технические характеристики по рассмотренным природно-агромелиоративным условиям на уровне технических элементов (каналы, шлюзы и т. д.) и системы в целом.

В данном случае, используя значения поливных норм нетто $\{m_{сп\tau}\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ проектного режима увлажнения (табл. 24.3), а также расчетные величины к.п.д. η_j , времени τ и площади обслуживания F_{ks} по общим расчетным формулам были определены необходимые значения брутто режимно-технологических и технических характеристик реализации увлажнения (поливных норм $\{\widehat{m}_{сп\tau}\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$; модулей $\{\widehat{q}_{сп\tau}\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$; расходов $\{\widehat{Q}_{сп\tau}\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$; объемов воды $\{\widehat{W}_{сп\tau}\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$) на уровне регулирующего гидротехнического сооружения РШ-7 в структуре разработки СПВ Ирпенской ОУС (табл. 24.4., рис. 24.5).

Таблица 24.4

Фрагмент прогноза технологических характеристик увлажнения на уровне мелиорированного поля и регулирующего гидротехнического сооружения в структуре разработки СПВ Ирпенской ОУС (РШ-7)

Месяц	Декада, τ	Технологические параметры увлажнения (брутто)			
		\widehat{m}	\widehat{q}	\widehat{Q}	\widehat{W}
апрель	10	0	0	0	0
	11	0	0	0	0
	12	0	0	0	0
май	13	0	0	0	0
	14	196,0	0,23	0,138	119,0
	15	214,0	0,25	0,151	131,0
июнь	16	213,0	0,25	0,150	130,0
	17	183,0	0,21	0,129	112,0
	18	181,0	0,21	0,128	111,0
июль	19	151,0	0,18	0,107	92,0
	20	168,0	0,19	0,119	103,0
	21	183,0	0,21	0,129	111,0
август	22	181,0	0,21	0,128	111,0
	23	211,0	0,24	0,149	129,0
	24	243,0	0,28	0,172	148,0
сентябрь	25	186,0	0,22	0,131	115,0
	26	95,0	0,11	0,067	58,0
	27	0	0	0	0
За вегетацию:		2407,0	0,28	0,172	1468,0

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения:

\widehat{m} – поливная норма, м³/га;

\widehat{q} – модуль подачи воды на увлажнение, л/с-га;

\widehat{Q} – расход воды, м³/с;

\widehat{W} – объемы увлажняющей воды, тыс. м³.

Адекватность любого прогноза, конечно, проверяется данными натурных исследований на соответствующем объекте, полученными в репрезентативных условиях. Поэтому в таблице 24.5 приведен фрагмент итоговых результатов по реализации ИСС ОПВ ОУС на балансовом участке в зоне обслуживания РС-7 в структуре Ирпенской ОУС за период вегетации 1991 г. ($p = 4$). Все необходимые данные фактической реализации водорегулирования осушаемых земель в условиях реального года практически тождественны расчетным.

Приведенные в таблице 24.5 технологические и технические характеристики увлажняющего шлюзования по рассматриваемым естественно-агромелиоративным условиям реального объекта убедительно свидетельствуют, во-первых, о достаточном уровне эффективности функционирования ИСС ОПВ ОУС вообще, прежде всего по поддержанию необходимого водно-воздушного режима осушаемых земель в производственных условиях в течение периода вегетации.

Во-вторых, они позволяют оценить общий уровень оправдываемости долгосрочного прогноза эффективности водорегулирования в структуре разработки СПВ ОУС по соответствующим моделям.

При этом, что касается сравнения вегетационных значений по таким характеристикам водорегулирования, как суммарные увлажняющие нормы M , средние расходы Q и суммарные объемы W подачи воды на увлажнение (табл. 24.5, 24.6), то относительная погрешность ε по прогнозируемым (индекс c) и фактическим (индекс r) значениям между ними соответственно составила:

$$\varepsilon(M^r, M^c) = 8,83\%; \varepsilon(Q^r, Q^c) = 8,87\%; \varepsilon(W^r, W^c) = 8,85\% \quad (24.8)$$

Она в целом не превышает 10 % границы, что можно считать вполне удовлетворительным.

Таблица 24.5

Сравнительная характеристика фактических параметров подпочвенного увлажнения за период вегетации 1991 г. на балансовом участке Ирпенской ОУС

Месяц	Декада, τ	Режимные		Технологические и технические		
		H_g , м	wh , % ПВ	\bar{Q} , м ³ /га	\bar{W} , тыс.м ³	\bar{m} , м ³ /га
Апрель	10	0,60/0,78	(62...80)/90	0	0	0
	11	0,60/0,82	(62...80)/84	0	0	0
	12	0,65/0,84	(62...80)/72	0,079	68,4	112,0
Май	13	0,70/0,78	(62...80)/65	0,124	107,0	175,0
	14	0,70/0,74	(67...75)/63	0,142	126,0	201,0
	15	0,75/0,72	(67...75)/72	0,193	166,4	273,0
Июнь	16	0,75/0,72	(67...75)/72	0,183	158,2	259,0
	17	0,70/0,74	(67...75)/65	0,146	126,6	208,0
	18	0,70/0,71	(68...77)/64	0,158	136,4	224,0
Июль	19	0,70/0,72	(68...77)/73	0,193	166,8	273,0
	20	0,70/0,71	(68...77)/72	0,172	148,4	243,0
	21	0,75/0,76	(68...77)/68	0,144	124,2	203,0
Август	22	0,70/0,73	(72...85)/74	0,125	108,3	178,0
	23	0,75/0,78	(68...77)/69	0,079	68,0	112,0
	24	0,85/0,87	(65...80)/68	0,035	30,2	50,0
Сентябрь	25	0,85/0,82	(65...80)/69	0,058	50,2	82,0
	26	0,85/0,83	(65...80)/70	0,033	28,8	47,0
	27	0,85/0,84	(65...80)/72	0	0	0
За вегетацию:		0,73/0,77	(66...78)/72	0,193	1610,5	2640,0

Примечание: 1. В таблице использованы следующие обозначения:

H_g - глубина УГВ; wh - влажность активного слоя почвы;

2. Для режимных характеристик в числителе представлены рекомендуемые значения параметров, в знаменателе – фактические.

По оценке сходимости соответствующих текущих значений изменения этих и других характеристик в течение периода вегетации по принятым статистическим критериям, то, например, для водного режима почвы по влагозапасам WPh_t^c и влажности wh_t^r (табл. 24.4, 24.6) коэффициент корреляции $r(x_t^r, x_t^c) = 0,779$; среднеквадратичная относительная погрешность имитации $\delta(x_t^r, x_t^c) = 0,114$; коэффициент несовпадения Тейла $U(x_t^r, x_t^c) = 0,059$. Тогда как для поливных норм (m_t^r, m_t^c) показатели такой оценки (табл. 24.5, 24.6) составили: $r(x_t^r, x_t^c) = 0,634$, $\delta(x_t^r, x_t^c) = 0,398$, $U(x_t^r, x_t^c) = 0,245$. Итак, уровень сходимости между прогнозируемыми и фактическими его значениями можно считать вполне удовлетворительным.

В то же время для поливных норм при нормальном уровне сходимости между их вегетационными значениями этот уровень можно считать также допустимым, поскольку расхождение между ними объясняется прежде всего несовпадением во времени реализации проектного и фактического режимов увлажнения (табл. 24.4, 24.5) из-за несоответствия прогнозируемого (по типовой схеме погодных условий расчетного периода вегетации) и фактического (в условиях реального года) распределения определяющих метеорологических факторов (осадков, температуры, испарения и т. д.).

И, наконец, величина средней фактической урожайности выращиваемых многолетних трав на зеленую массу составила в исследуемых условиях $Y_{sp}^r = 24,4$ т/га против прогнозируемой $Y_{sp}^c = 27,0$ т/га с относительной погрешностью между ними $\varepsilon(Y^r, Y^c) = 9,63\%$. Это можно считать вполне удовлетворительным по совместной оценке эффективности долгосрочного и оперативного прогноза в разработке и реализации стратегии и тактики планового водорегулирования осушаемых земель.

Обобщенная характеристика эффективности применения СКАПВОС в целом на примере Ирпенской ОУС течение 1989–1991 гг. приведена в таблице 24.6.

Технико-экономические показатели эффективности СКАПВОС на примере Ирпенской ОУС

Показатель	До введения планового водорегулирования		При реализации планового водорегулирования		
	1987 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.	1991 г.
Схемы погодных условий по годам исследований, p	$p = 3$	$p = 2$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$
Влагообеспеченность периодов вегетации, %	53,0	18,0	20,0	51,0	62,0
Подано воды в голову системы W^n , млн м ³	18,6	16,0	2,1	10,3	2,1
Сброшено воды из системы W^c , млн м ³	34,2	39,2	30,1	18,7	9,9
Расход электроэнергии на перекачку сброшенной воды θ , млн кВт-часов	0,70	0,81	0,63	0,39	0,23
Показатель надежности управления водным режимом за период вегетации N^l , %	57,0	63,0	80,0	86,0	87,0
То же для критического периода развития выращиваемых культур N^k , %	49,0	60,0	73,0	77,0	82,0
Стоимость полученной продукции (в сопоставимых ценах 1983р.) V , руб./га	303,2	314,6	354,8	363,4	380,0
Удельный расход поданной воды на единицу стоимости полученной продукции W^n/V , м ³ /руб.	9,08	7,53	0,88	4,19	0,82
Удельный расход электроэнергии на единицу стоимости продукции θ/V , кВт-часов/руб.	0,34	0,38	0,26	0,16	0,09

Приведенные результаты производственной проверки показали, что разработка СПВ ОУС как элемента СКАПВОС по рассмотренным принципам, методам и моделями имеет следующие преимущества:

- с помощью прогнозных режимных расчетов создается реальная возможность получить подробную характеристику и оценить эффективность водорегулирования осушаемых земель в условиях функционирования реального объекта рассматривается по совокупности множественных определяющих факторов: природно-климатических, агротехнических, почвенно-мелиоративных, технических, временных и т. п.;

- обосновываются необходимость и целесообразность увлажнения осушаемых земель в засушливые периоды, выбираются рациональные способы водорегулирования по полям и схемы – по участкам и системе в целом, с учетом его конструктивных особенностей, водообеспеченности и технического состояния, для всех расчетных по влагообеспеченности периодов вегетации;

- для выбранных схем работы системы ЭВМ выдает все основные составляющие СПВ ОУС: нормы, модули, расходы, объемы и сроки подачи воды на каждое увлажняемое поле, пропускания ее по отдельным элементам (каналы, трубопроводы, шлюзы, насосные станции и др.) и системе в целом в разрезе расчетных по влагообеспеченности периодов вегетации;

- хорошо сбалансированный и научно обоснованный СПВ ОУС является надежной основой для разработки общего технического плана эксплуатационных мероприятий по обеспечению функционирования системы и выработки оптимальной стратегии ее управления при имеющемся (оптимальном) ресурсном обеспечении.

Комплексное использование долгосрочных прогнозно-оптимизационных режимных расчетов по многолетним ретроспективными данным, положенным в основу разработки СПВ ОУС, и аналогичных расчетов по данным краткосрочных прогнозов в оперативном режиме управления системой в условиях текущего года, лежащие в основе функционирования ИСС ОПВ ОУС, по сравнению с существующими традиционными методами управления системами двустороннего действия в зоне осушительных мелиораций позволяет дополнительно к рассмотренным преимуществам стратегического планирования водорегулирования:

- повысить оперативность и качество водорегулирования и тем самым отдачу мелиорированных земель на 15...25 %;

- наладить водоучет и составить водохозяйственный баланс системы на практически любой расчетный промежуток времени;

- более рационально использовать земельные ресурсы, сэкономить 20...60 % воды при увлажнении осушаемых земель и 15...30 % электроэнергии в зависимости от условий тепло- и влагообеспеченности периода вегетации;

– свести к минимуму влияние системы на прилегающие территории и улучшить гидрологический режим водотоков в пределах системы при своевременном назначении и технически совершенном исполнении увлажняющих мероприятий.

Таким образом, результаты производственной апробации рассмотренных научно-технических разработок по плановому водорегулированию осушаемых земель на долгосрочной и краткосрочной основе с соблюдением экономических и экологических принципов свидетельствуют о достаточно высокой их общей эффективности и целесообразности внедрения при эксплуатации ОУС. Они могут быть взяты также за основу при создании систем мониторинга и управления природно-техногенными комплексами в зоне осушительных мелиораций на базе существующих мелиоративных систем и управлений по их эксплуатации с целью организации эффективного природопользования на эколого-экономических началах по перспективному ландшафтному принципу.

24.5. Системное водорегулирование на осушительно-увлажняющих системах в современных условиях

В связи с современными и перспективными изменениями погодно-климатических условий на глобальном и региональном уровнях, в том числе в зоне Полесья Украины, прежде всего в направлении усиления ее засушливости в теплое время года, возникает необходимость перевода осушаемых как минеральных и, особенно, торфяных почв на регулярное увлажнение в период вегетации выращиваемых сельскохозяйственных культур. Этим обосновывается необходимость усиления внимания к источникам увлажнения и их увлажняющей способности при обеспечении соответствующих технологий двойного регулирования водного режима осушаемых земель, а также совершенствования методов управления ОУС на основе современных высокоинформативных компьютерных технологий и взаимосвязи всех уровней принятия управленческих решений во времени.

При традиционном подходе [27] уровни принятия решений во времени являются относительно самостоятельными, включают в себя: 1) проект; 2) плановое управление объектом; 3) оперативное управление объектом – и обеспечивают соответствующим видом прогноза влияющих факторов. Поэтому для каждого уровня необходимо разрабатывать существенно различные модели оптимизации технических и технологических решений и прогнозной оценки эффективности водорегулирования по сформулированным целям, выбранным критериям оптимизации, а также структуры расчетов их реализации.

В развитие автоматизации планового водорегулирования на осушаемых землях согласно [30] при системном управлении водорегулирования на ОУС (СУВ ОУС) уровни принятия решений следует рассматривать во взаимосвязи: 1) оперативное управление; 2) плановое управление; 3) проект. Все три уровня взаимосвязаны между собой и опираются на единый модельный комплекс *объект* → *внешняя среда* → *их взаимодействие* и совместную базу соответствующего информационного, прежде всего метеорологического, обеспечения (рис. 24.6).

Первый уровень включает в себя долгосрочные перспективные разработки на стадии схемы и стадии проекта. На стадии проектов нового строительства и реконструкции существующих систем необходимо обосновать и определить оптимальное решение по типу, конструкции и параметрам ГМС, обусловленные принятым способом (схемой) водорегулирования на системе при существующих природно-хозяйственных условиях [29].

Второй уровень принятия решений во времени: здесь происходит разработка системных планов по УВ ОУС, обосновываются плановые технологии водорегулирования на системе в следующем сезоне.

Этот уровень стратегически важен, поскольку позволяет в широком диапазоне возможных сценариев развития событий определить места возникновения рисков затопления, потребность в дополнительном строительстве или реконструкции сооружений, определяет возможность комплекса сооружений или отдельных единичных сооружений системы выдержать динамические нагрузки разрушительной силы потоков воды.

Решение этого вопроса возможно только благодаря выполнению детальных прогнозных режимных расчетов на долгосрочной основе для различных альтернативных вариантов схем водорегулирования на ОУС и выбора оптимального из них в меняющихся климатических условиях по всему спектру расчетных лет.

Третий уровень принятия решений во времени – это оперативное управление водорегулированием на ОУС в таких возможных режимах: а) реального времени; б) краткосрочных прогнозов метеофакторов: сверхсрочного (до 3 часов), краткосрочного (до 3 дней) и среднесрочного (до 10 дней) в условиях текущего года.

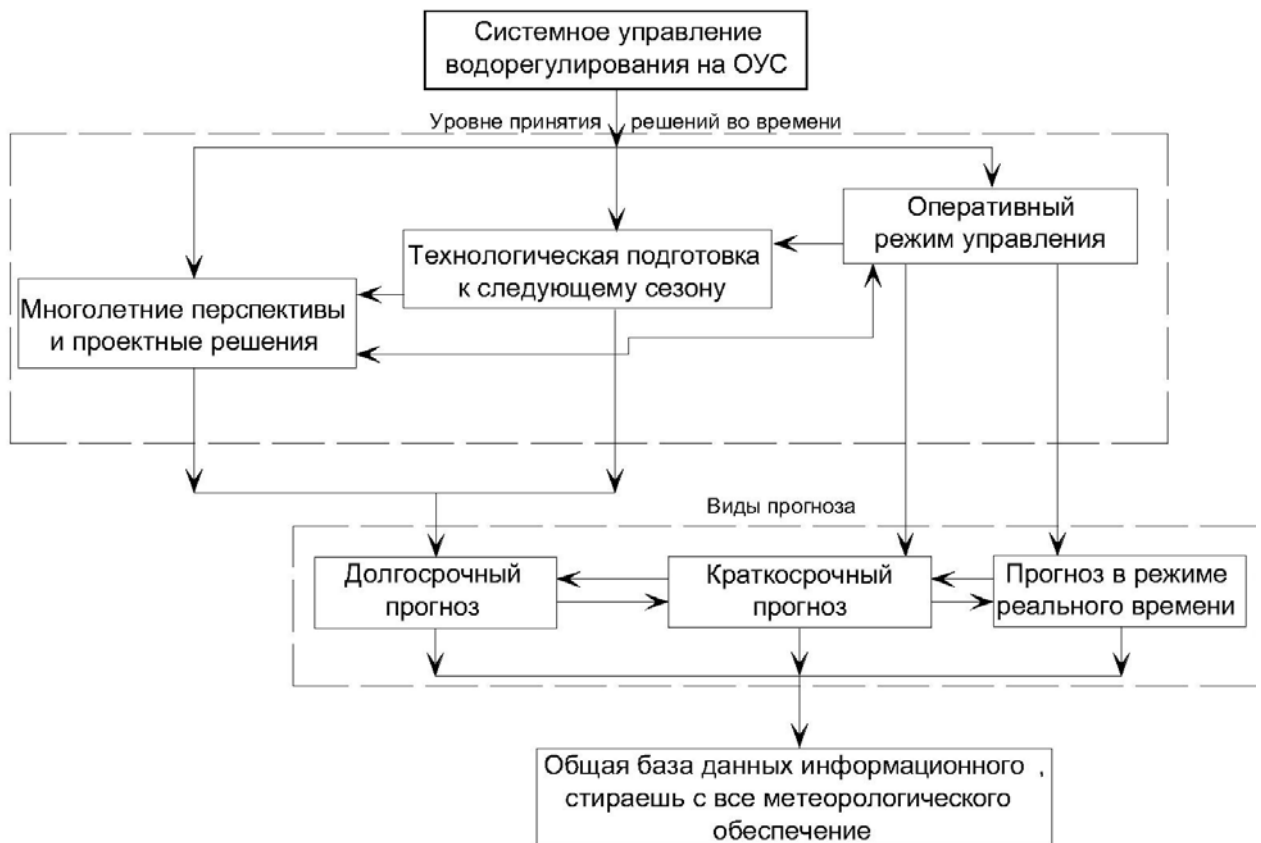


Рис. 24.6. Структура системного управления ОУС

Исходя из имеющихся видов прогноза относительно уровней принятия решений во времени (1 – проект, 2 – плановое управление, 3 – оперативное управление) для выполнения режимных прогнозно-оптимизационных расчетов на долгосрочной или краткосрочной основе необходимо исходить из разработки соответствующего прогноза климатических или погодных условий.

Модель прогнозной оценки метеорологических режимов является первым звеном в цепи реализации любых режимных прогнозно-имитационных расчетов на долгосрочной или краткосрочной основе, от точности которого напрямую зависят результаты всех последующих вычислений, до окончательного принятия управленческих, проектных или экспертных решений.

При этом вид и уровень сложности таких моделей, их методическое и информационное обеспечение должны удовлетворять главному требованию – быть достаточно эффективными и относительно простыми и пригодными для их практического применения в прогнозных режимных расчетах.

При системном управлении водорегулирования на ОУС информационное обеспечение базы данных может формироваться, пополняться, расширяться и развиваться за счет включения в нее как данных многолетних ретроспективных наблюдений за основными метеофакторами, так и их формирования в текущие годы функционирования системы управления в рамках системы, образуя саморазвивающуюся систему базы данных метеорологического обеспечения СУВ ОУС (рис. 24.7).

Точность полученных расчетов зависит от уровня принятия решений во времени, вида прогноза метеорологических факторов и шага реализации модели (час, сутки, пентада, декада, месяц, холодный или теплый период года, год, проектный срок функционирования объекта).

Для этого могут быть эффективно использованы уже существующие и апробированные на практике методы и модели разработки необходимого метеорологического обеспечения долгосрочных и краткосрочных прогнозов, разработанные нами для управления водохозяйственно-мелиоративными объектами, комплексами и регламентированные соответствующими отраслевыми нормативами в системе водного хозяйства Украины [27, 28, 29].

Итак, системное управление водорегулированием на ОУС позволит повысить общую эффективность осушаемых земель и управления ОУС как сложными природно-техническими комплексами в переменных погодных-климатических условиях в зоне осушительных мелиораций, прежде всего зоны Полесья, на базе существующих мелиоративных систем и управлений по их эксплуатации позволит организовать эффективное природопользование на эколого-экономических основах с учетом современных условий формирования климата, так и возможных его изменений в ближайшем и отдаленном будущем.

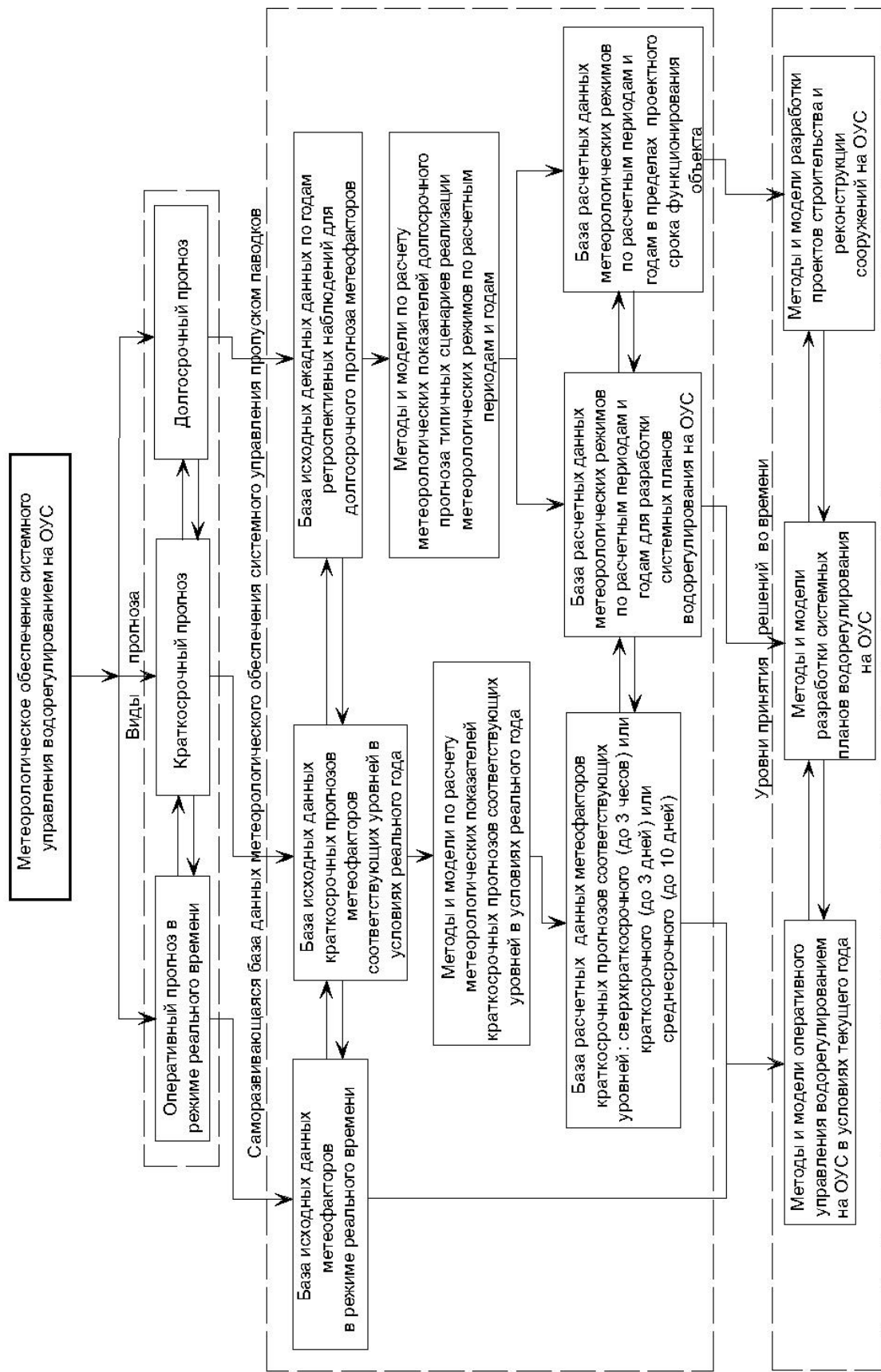


Рис. 24.7. Схема реализации саморазвивающаяся системы формирования базы данных метеорологического обеспечения при управлении ОУС

Литература

1. Афанасик Г. И., Омелько А. А., Жуков Л. Ф. Управление водным режимом на больших мелиоративных системах // Мелиорация и охрана окружающей среды. – Минск, 1989. – С. 17–26.
2. Бельчиков Г. Н., Клименко Б. И. Использование АИСС ОУП в Киргизской ССР // Мелиорация и урожай. – 1989. – № 6. – С. 60–62.
3. Галямин Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 272 с.
4. Гус В. М. Оперативное планирование водопользования на осушительно-увлажнительных системах с использованием ЭВМ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / УИИВХ. – Ровно, 1991. – 20 с.
5. Информационная система планирования проектных режимов орошения : инструкция / под ред. В. П. Остапчика. – Киев, 1985. – 53 с.
6. Информационно-советующая система управления орошением / В. П. Остапчик, В. А. Костромин, А. М. Коваль [и др.] ; под. ред. В. П. Остапчика. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.
7. Квасников А. В., Свердель П. С., Цой Г. В. Автоматизированная информационная система водораспределения АИС ДУ «Магистраль» // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 12. – С. 33–37.
8. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации) / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М.: Агрометеиздат, 1990. – 60 с.
9. Оцінювання і прогнозування метеорологічних величин в характерні за умовами зволоження періоди вегетації для виконання водобалансових розрахунків та агрометеорологічних прогнозів на довготерміновій основі : методичні вказівки / А. М. Рокочинський, О. І. Окопний, Я. Я. Зубик [та ін.]. – Рівне, 1996. – 33 с.
10. Платонов В. А. Оптимизация условий влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 118 с.
11. Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах // Управление водным режимом мелиорированных земель / Г. И. Афанасик, О. Р. Армоник, В. Н. Пятницкий [и др.]. – Минск: Ураджай, 1987. – С. 9–15.
12. Рациональні витрати води для зволоження осушуваних земель України : тимчасові рекомендації / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. М. Бежук [та ін.]. – Рівне, 1996. – 36 с.
13. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы) // Россия молодая. – 1994. – 367 с.
14. Рокочинський А. М., Зубик Я. Я. Моделі водорозподілу при реалізації планового водорегулювання осушуваних земель // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Рівне, 2000. – Вип. 3 (5). – Ч. 1. – С. 92–99.
15. Руководство по составлению планов водопользования, водораспределения и регулирования водного режима на мелиорируемых землях / В. М. Зубец, Л. А. Холодок, Я. И. Еськов [и др.]. – Минск, 1979. – 68 с.
16. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення / за ред. П. І. Коваленка. – Київ: Аграрна наука, 2001. – 215 с.
17. Сташук В. А., Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Гус В. М. Информационно-советующая система для гумидной зоны // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 5. – С. 41–44.
18. Сташук В. А. Оцінка і прогноз умов формування водного режиму осушених земель при різних способах його регулювання : дис. ... канд. техн. наук у формі наук. допов. : 06.01.02 / УПВГ. – Рівне, 1993. – 28 с.
19. Технические указания по разработке с помощью ЭВМ системных планов водопользования для осушительно-увлажнительных систем Украины: НТД 33-04-01-91 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, В. М. Гус [и др.]. – Киев: Укрگیпроводхоз, 1991. – 40 с.
20. Технические указания по созданию информационно-советующих систем управления осушительно-увлажнительными системами: НТД 33-04-03-92 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков [и др.]. – Киев: Укрگیпроводхоз, 1992. – 66 с.
21. Технические указания по эксплуатационной гидрометрии на осушительных системах: НТД 33-04-02-91 / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков [и др.]. – Киев: Укрگیпроводхоз, 1991. – 74 с.
22. Технічні вказівки з встановлення економічно обґрунтованих лімітів водоспоживання на осушуваних землях: НТД 33-04-02-93/ М. О. Лазарчук, А. М. Рокочинський, В. М. Бежук [та ін.]. – Київ: Укрдіпроводгосп, 1992. – 31 с.
23. Харченко С. И. Управление водным режимом на мелиорируемых землях в Нечернозменной зоне (гидрологические аспекты). – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 240 с.
24. Шебеко В. Ф. Водохозяйственные расчёты при мелиорации переувлажненных земель. – Минск, 2000. – 320 с.
25. Шебеко В. Ф., Можеем И. И., Киселёва А. И. Методические указания и программы для ЭВМ по проектированию водного режима осушаемых земель на основе водобалансовых расчетов. – Минск, 1980. – 67 с.
26. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. – М.: Колос, 1970. – 135 с.
27. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водо регулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромашенка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
28. Методичні рекомендації по науково-методичних та організаційних засадах управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним / А. М. Рокочинській, Я. Я. Зубик, Л. В. Зубик [та ін.]. – Рівне, 2005. – 53 с.

29. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2008. – 64 с.

30. Усовершенствование системы управления пропуском паводков в условиях Прикарпатья / А. Н. Рокочинский [и др.] // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. науч. ст. – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 122–127.

31. Тимчасові рекомендації з прогновної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2011. – 54 с.

32. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, А. В. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Київ ; Рівне, 2006. – 50 с.

33. Тимчасові рекомендації з обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / С. В. Шалай, А. М. Рокочинський, В. А. Сташук [та ін.]. – Рівне: НУВГП, 2004. – 43 с.

34. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2010. – 52 с.

Глава 25. ЗАЩИТА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ СКЛАДИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

25.1. Современное состояние и пути защиты окружающей среды от загрязнения отходами

Ситуация, наблюдающаяся в последние годы в природных экосистемах, ведет к значительным потерям ресурсов, возникновению необратимых процессов загрязнения окружающей природной среды (ОПС) [2, 3 и др.]. Поэтому проблема защиты водных и земельных ресурсов, природных и техноприродных ландшафтов от загрязнения и засорения, восстановления природно-экологического равновесия в водных и околосводных экологических системах, по мнению большинства отечественных и зарубежных специалистов в области природообустройства, водного хозяйства и мелиорации (П. И. Коваленко, М. И. Ромащенко, А. В. Яцык, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, М. О. Клименко, Л. Ф. Кожушко, В. А. Ковда, О.И. Перельман, М. V. Khire, R. K. Rowe, С. V. Lake и др.) остается чрезвычайно актуальной как в общепланетарном масштабе, так и в Украине.

Среди многочисленных объектов – загрязнителей окружающей среды весомое место по уровню негативного влияния занимают свалки и полигоны промышленных и твердых бытовых отходов (ТБО), причем масштабы накопления последних уже достигли угрожающего уровня и для Украины. Свалки и полигоны ТБО имеют существенные отличия в конструкции и условиях эксплуатации.

Согласно литературным данным [13] *полигон ТБО* – это инженерное специализированное сооружение, предназначенное для захоронения ТБО, которое должно обеспечивать:

- санитарное и эпидемическое благополучие населения, экологическую безопасность ОПС;
- предотвращение развития опасных геологических процессов и явлений;
- устройство противофильтрационных экранов из глины и (или) синтетического материала, системы сбора фильтрата, полигонного газа и герметичное покрытие;
- эксплуатационную надежность, экономичность, минимальное отчуждение земельных и других природных ресурсов и др.

В отличие от полигона ТБО, *мусорная свалка* – произвольно выбранный участок для удаления отходов, не оборудованный техническими системами и работающий без эксплуатационных мер, предназначенных минимизировать влияние на окружающую среду [4].

В развитых странах комплекс мероприятий по обращению с ТБО воплощает принцип устойчивого развития и может быть коротко представлен следующим перечнем операций: *изъятие – повторное использование – переработка – добыча энергии – захоронение*.

В таком случае схемы удаления ТБО могут включать широкий набор разных методов и производств, которые будут давать возможность осуществлять сепарацию ТБО с индивидуальной последующей переработкой разных фракций (рис. 25.1).

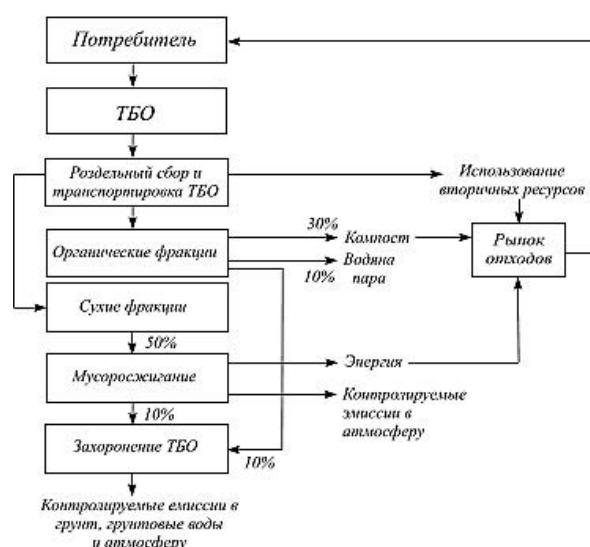


Рис. 25.1. Совершенная схема удаления ТБО

Стратегии управления ТБО в Украине, России, других странах СНГ и частично в странах Восточной Европы осуществляются по схеме:



Рис. 25.2. Несовершенная схема удаления ТБО

Отсутствие эффективной системы обращения с отходами на уровне административных единиц (области, района, города) предопределяет накопление значительного их количества в местах удаления. Все это приводит к изъятию значительных территорий под свалки мусора, усиление антропогенной нагрузки на окружающую среду, загрязнение таких основных компонентов, как атмосферный воздух, земельные и водные ресурсы, ухудшение условий обитания населения, деградация естественных биоценозов.

Как свидетельствуют исследования А. И. Голованова, М. А. Попова, А. П. Власюка, С. С. Душкина и др. [1, 2], продолжительное накопление ТБО на свалках и полигонах приводит к возникновению непредусмотренных физико-химических и биохимических процессов, продуктами которых являются многочисленные токсичные химические соединения, мигрирующие в разных агрегатных состояниях и отрицательно влияющие на состояние окружающей среды и здоровье населения.

Возникновение и активное развитие подобной ситуации обусловлено, в первую очередь, стремительно возрастающим темпом научно-технического прогресса без учета объективных законов развития и возобновления природно-ресурсных комплексов, что служит причиной нарастающего загрязнения среды, разрушения естественных ландшафтов и истощения природных ресурсов.

Суть экологической проблемы в таком случае можно описать следующей схемой:

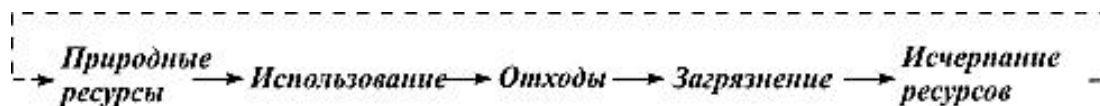


Рис. 25.3. Схема истощения природных ресурсов

Как следствие, минимизацию истощения природных ресурсов определяет способность общества организовать экологически-безопасное сохранение, переработку, повторное использование, добыча энергии с отходов, уменьшить потребление природных ресурсов как одного из весомых показателей его экологической, экономической и социальной стойкости.

В современных условиях масса ТБО поступающих в биосферу, достигла геологических масштабов. Ежегодно мир порождает около $1,6 \cdot 10^9$ м³ бытовых отходов [4]. В развитых странах производится 1...3 кг бытовых отходов на душу населения в день, что представляет десятки и сотни кубометров в год. Так, годовой объем накопления отходов для разных стран мира составляет: США – $9,44 \cdot 10^8$ м³; Российская Федерация – $8,13 \cdot 10^8$ м³; Великобритания – $1,39 \cdot 10^8$ м³; Франция – $1,07 \cdot 10^8$ м³; Германия – $6,24 \cdot 10^7$ м³; Голландия – $5,6 \cdot 10^7$ м³; Бельгия – $1,21 \cdot 10^7$ м³ и т. п.) и это количество увеличивается на 10 % каждые 10 лет [4].

Свидетельством того, что проблема ТБО со временем приобретает все большие масштабы, является то, что, например, в США в период с 1960 по 2008 год количество бытовых отходов возросло более чем на 280 % [16].

Каждый год в городах Украины образовывается $4,5...5,0 \cdot 10^7$ м³ (около $1,25 \cdot 10^7$ тонн) ТБО, 93 % которых обезвреживаются путем захоронения на свалках мусора и полигонах. Последних насчитывается около 4,5 тыс., при этом 897 единиц (20 %) не отвечают нормам экологической безопасности. Полигоны, свалки, хранилища, шламонакопители, терриконы занимают площадь 165 тыс. га, а общее количество накопленных отходов в Украине по примерным подсчетам составляет около $5,1 \cdot 10^9$ м³ (с них ТБО около $1,5 \cdot 10^9$ м³). Количество мусоросвалок, которые исчерпали свою мощность, составляет 50 % [4].

В Ровенской области ситуация относительно обращения с разными видами и классами отходов находится в таком состоянии, которое нуждается в экстренном решении как на местном, так и на государственном уровне. Так, по состоянию на 01.01.2010 общее количество полигонов и свалок ТБО составляет 26 единиц (занимают площадь 122,1 га), в том числе – 4 перегруженные (в г. Дубно, Кузнецовск, пгт. Демидовка и Млынов). В г. Ровно полигон ТБО загружен почти на 100 %. Годовой объем накопления отходов в области составляет $0,92...0,95 \cdot 10^6$ м³, при этом общий объем накопленных ТБО составляет $4,61 \cdot 10^7$ м³, а количество отходов из года в год увеличивается в среднем на 3...5 %. Основной технологией обращения с бытовыми отходами остается их захоронение на полигонах и свалках мусора, и только 0,2 % (!) из них поступают на переработку для повторного использования [4].

В комплекс критериев, которые отмечают те или другие подходы к реализации этапов обращения с бытовыми отходами, входят количественные и качественные показатели, которые характеризуют ТБО: морфологический и фракционный состав, содержимое органического вещества, химических компонентов и т. п.

25.2. Основные загрязнители в пределах объектов складирования твердых бытовых отходов

Полигоны и свалки отходов являются источником загрязнения атмосферы, грунтов и подземных вод [2, 3]. Обычные ТБО современного города содержат около 100 наименований токсичных соединений. Основной и наиболее опасный загрязнитель (в жидком агрегатном состоянии) в зоне расположения свалок и полигонов ТБО – *фильтрат*, формируемый в отвалах свалки, главным образом при взаимодействии отходов с инфильтрующимися атмосферными осадками, а также при участии влаги, внесенной с органическими отходами. Фильтрат содержит многочисленные компоненты распада органических и минеральных веществ, которые практически ни на одной из свалок мусора не обезвреживаются, а инфильтруются в грунт и попадают в грунтовые воды, а оттуда загрязнение направляется к водному объекту, близлежащей к полигону ТБО территории, то есть в окружающую природную среду. Так, в поверхностных водах и донных отложениях возле захоронений отходов концентрация свинца превышает фоновые показатели в 4...36 раз, цинка – 2...14 раз, меди – 2...3 раза, ртути – 950 раз, висмута – 180 раз [4]. Содержимое основных загрязняющих веществ на каждом конкретном полигоне неодинаково, средние значения их концентрации в фильтрате приведены в таблице 1.4.

Итак, поступление фильтрата в гидросферу представляет весомую опасность для окружающей среды, поскольку концентрация веществ, которые в нем содержатся, в несколько сотен раз превышает значение ГДК для водных объектов [6].

Таблица 25.1

Средний состав фильтрата полигона ТБО

Загрязняющие компоненты фильтрата	«Молодой» фильтрат (1–5 лет эксплуатации полигона ТБО)	«Старый» фильтрат (последующие годы эксплуатации полигона ТБО)
рН	4,5	7,83
Взвешенные вещества, мг/л	1000,0	1000,0
БПК ₅ , мг О ₂ /л	10636,7	671,0
ХПК, мг О ₂ /л	26802,0	2277,2
SO ₄ ²⁻ , мг/л	3366,8	264,9
Mg ²⁺ , мг/л	847,5	88,5
Cl ⁻ , мг/л	4319,7	1239,5
NH ₄ ⁺ , мг/л	599,4	362,8
K ⁺ + Na ⁺ , мг/л	3183,3	1193,4
Fe, мг/л	60,7	15,1

Таким образом, когда возникает загрязнение, оно касается одновременно и грунтовой воды, и той твердой породы, через которую протекает загрязненный фильтрат, и делает очищение водоносного горизонта очень сложной и дорогой мерой. Зона загрязнения окружающей среды крупных объектов захоронения достигает 1,5 км по направлению массопереноса [6].

Очень часто перегруженные полигоны становятся источниками инфекций. В отходах продолжительное время хранятся бактерии, вызывающее брюшной тиф, дизентерию и другие опасные заболевания, а в грунтовых водах близ городских свалок фиксируют соединение токсичных веществ, которые могут привести к резкому снижению иммунитета организма и развития заболеваний у населения [5]. Поэтому на объектах складирования ТБО необходимо и целесообразно применение мелиоративных природоохранных мер, которые будут направлены на экологически безопасное хранение ТБО и снижение поступлений загрязняющих веществ в окружающую природную среду.

Не менее важная проблема – *образование парниковых газов* в отвалах ТБО вследствие протекания метаногенеза – процесса ферментации биомассы, содержащейся в бытовых отходах, с помощью естественной метаногенной микрофлоры [16].

На первом, аэробном этапе высокомолекулярные биополимерные соединения раскладываются до низкомолекулярных органических веществ – олигосахаридов, аминокислот и пептидов, глицерина, карбоновых кислот, диоксида углерода и водорода. Органические соединения разлагаются с помощью ферментов, которые осуществляют гидролиз соединений, расщепляют сложные органические соединения с присоединением воды.

На втором, анаэробном этапе метаногенеза образуются разные органические кислоты, которые окисляются преимущественно до ацетата и диоксида углерода. Образуются также водород, аммиак, сероводород.

На третьем и четвертом этапах при участии ферментов органические вещества превращаются в CH_4 и CO_2 .

Как правило, биогаз на 45...60 % состоит из метана CH_4 , 35...50 % – углекислого газа CO_2 и на 1...5 % из стойких биоаккумулятивных токсических (PBT) веществ (Hg и др.), аммиака NH_3 , кислорода O_2 , азота N_2 , оксида углерода CO , сероводорода H_2S и органических веществ неметаногенного происхождения (NMO) к которым относят (трихлорэтилен, бензол, винилхлорид) [5] (рис. 25.4).

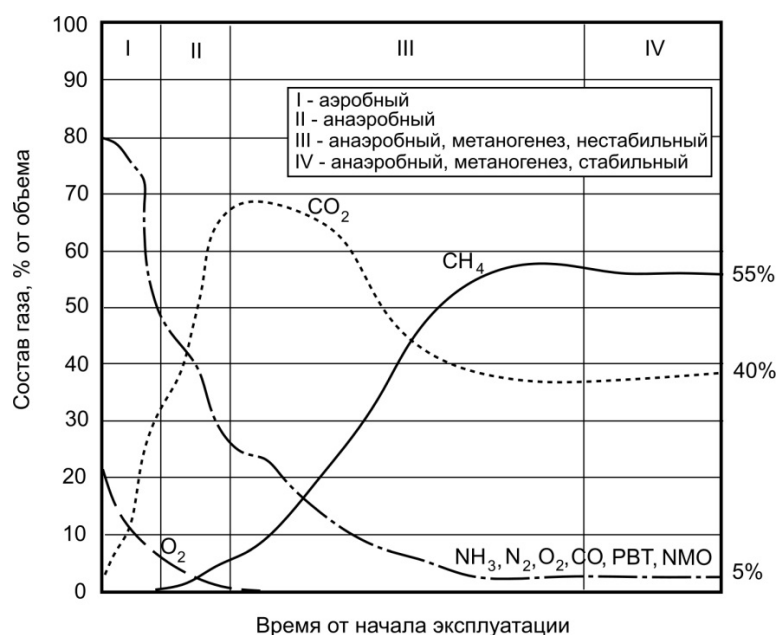


Рис. 25.4. Этапы образования и состав биогаза в пределах объекта ТБО

Глобальные концентрации метана (CH_4) в атмосфере увеличились в 2,4 раза в сравнении с доиндустриальным периодом. Основными причинами увеличения метана в атмосфере являются выбросы во время добычи угля, природного газа и нефти, а также выбросы со свалок мусора и выбросы в сельском хозяйстве. Следует отметить, что выбросы CH_4 из полигонов ТБО составляют 5...20 % его глобальной эмиссии и достигают угрожающего уровня, учитывая то, что потенциал глобального потепления метана как парникового газа в 12 раз превышает потенциал CO_2 .

По отчету Межправительственной группы экспертов по вопросам изменения климата (IPCC) от 2 февраля 2007 г. именно увеличение выбросов парниковых газов вследствие деятельности человека является наибольшей причиной зафиксированных климатических изменений.

Поэтому полигоны и свалки становятся весомым фактором формирования парникового эффекта на региональном уровне. Так, в пределах отвалов ТБО Ровенской области ежегодно образуется 5...7 млн m^3 биогаза [5]. В перерасчете на парниковые газы CO_2 и CH_4 это около 3,5 млн m^3 и 2,5 млн m^3 соответственно.

Итак, отходы являются важным фактором загрязнения и основными источниками продолжительного негативного воздействия на окружающую среду. Самого большого вреда полигоны и свалки ТБО наносят локальным экосистемам, вызывают загрязнение больших, средних, малых рек и подземных вод для питьевого водоснабжения, грунтов, а также служат источниками выброса парниковых газов.

25.3. Современные подходы к защите от загрязнения территорий и водных объектов на основе использования инженерно-мелиоративных мероприятий

Задача защиты от загрязнения территорий и водных объектов в зоне складирования бытовых отходов имеет ярко выраженный сложный комплексный характер, в данное время ею занимаются научные сотрудники и производственники разных направлений подготовки и сфер профессиональной деятельности, и дальнейшие исследования требуют привлечения новых ресурсов и межотраслевой

координации работ. Среди современных подходов к решению данной задачи, по нашему мнению, наиболее верным является использование мелиорантов и создание дренажных устройств для перехвата воды с загрязняющими веществами.

Следует отметить, что на сегодня изучение экологического значения применения мелиорантов, их влияние на состав и свойства грунтов становится все более актуальным, что показано в исследованиях как отечественных научных сотрудников Т. Н. Кулаковской, Р. С. Трускавецкого, С. Т. Вознюка, Н. О. Клименко, С. И. Веремеенко, О. Н. Клименко, О. С. Мороза, Г. А. Мазур, Т. О. Гринченко, В. Л. Самохваловой, так и зарубежных С. Е. Сорокина, Ю. Я. Спиридонова, В. Г. Шестакова, D. P. Oliver, K. G. Tiller, M. K. Conyers, W. R. Berti и др. [5].

Мелиоранты способны выполнять функцию восстановления естественного состояния грунтовой системы, влияя на реакцию грунта, весь комплекс физико-химических свойств грунтов, на дозирование поступления химических элементов в грунтовой раствор, миграционные процессы в системе «грунт – грунтовые воды».

Традиционные и нетрадиционные мелиоранты нужно рассматривать как антитоксины, применение которых содействует предотвращению, снижению или ликвидации токсичных процессов, вызванных загрязнением. Анализ результатов исследований [5] указывает на необходимость выделения трех основных современных теоретических направлений относительно вопроса применения мелиорантов в природоохранной деятельности:

экологический – где мелиоранты выполняют природоохранное значение и исследуется влияние техногенных химических факторов на окружающую среду, а также пути миграции загрязняющих веществ в грунтовой профиле;

санитарный – использование мелиорантов для уменьшения содержания дисперсных частиц, молекулярно раскрытых веществ и ионов в объектах внешней среды до предельно допустимых (безопасным) уровней путем внедрения специальных мер (технологических, методических и др.);

гигиенический – разработка допустимых концентраций загрязняющих веществ, требований и рекомендаций в комбинации с мониторингом состояния и качества ОПС.

Анализ литературных источников [7, 5], а также основные принципы создания современных совершенных дренажных систем и синтез новейших эффективных технических достижений мотивировали к выводу о том, что наиболее рациональным и совершенным из технической и экологической точек зрения *техническим решением* задачи защиты от загрязнения территорий и водных объектов является создание дренажных устройств, перехватывающих неочищенную воду с загрязняющими веществами. Такие дренажные конструкции могут выступать аналогами общепринятых в мелиорациях траншейных дренажных фильтров или главного и систематического дренажа.

Так, в работах Н. Н. Хлапука, Р. В. Жомирука, З. Р. Маланчука, Е. З. Маланчука и др. [5] проанализировано влияние точечных объектов и установленные параметры локализации загрязнения высокоминерализованными водами, которые поступают из отвалов фосфогипса путем устройства материального дренажа.

Разновидностью дренажных конструкций также выступают *дренажно-аккумулирующие системы*, в состав которых входят надежные водоочистительные (сорбционные) и одновременно фильтрующие (водоотводные) дренажные устройства, определенным образом расположенные в грунтовой профиле.

Идея комбинации фильтрующе-водоотводных дренажных устройств и аккумуляюще-сорбционных элементов относительно новая и в основном правомерная. В течение последних лет ее развитием и усовершенствованием (преимущественно с акцентом на водозахватывающие, водоотводные и водоаккумуляторные свойства) занимались Л. Ф. Кожушко, Г. С. Потоцкий, И. М. Рагузина, С. В. Портной, П. М. Скрипчук, А. В. Черенков и др. [5]. Эти ученые рассматривали указанные дренажные устройства и аккумуляющие элементы в системе и из позиций прежде разработанного комбинированного дренажа, который представляет собой объединение дрен, расположенных в двух уровнях. Работу такого дренажа в разное время исследовали А. Н. Костяков, Е. И. Копьев, Н. Н. Ткачук, В. А. Живица, Л. Н. Соколовская, Н. Н. Ковальчук, В. И. Штыков, С. Г. Гордиенко, R. Herberhald, U. Kraemer и др. [5].

Так, в частности Н. Н. Ткачуком [5] для устранения некоторых недостатков традиционных дренажных систем была предложена конструкция разноглубокого регулирующего дренажа, который представляет собой систему разноглубоких параллельных дрен, принцип работы которых состоит в следующем. В период паводка, когда УГВ находятся близко от поверхности земли, идет интенсивный приток воды к дренам мелкого и глубокого закладки, по которым она скидывается в коллектор. При этом УГВ интенсивно понижается до глубины дрен мелкого закладки, после чего последние

исключаются из работы, а глубокие дрены продолжают работать, однако объем отведенной воды уменьшается в несколько раз. Поэтому разноглубокий дренаж, регулируя глубину залегания УГВ, обеспечивает оптимальный водно-воздушный режим, хотя и характеризуется определенными технологическими сложностями выполнения.

В развитие исследований в сфере комбинированных дренажных систем Л. Ф. Кожушко [7, 5] было предложено усовершенствованное техническое решение в виде комбинированной дренажно-аккумулирующей системы, которая представляет собой объединение трубчатых дрен с расположенными поперек на меньшей глубине бесполостными дренажными устройствами в виде разрыхленной полосы, на дно которой положен фильтрующе-аккумулирующий элемент. Здесь понятие аккумуляющей способности системы автор раскрывает как возможность системы (в зависимости от параметров и материала-наполнителя) аккумулировать влагу (в пределах 50...300 м³/га) верхнего пахотного и нижнего подпахотного пластов грунта, который в результате приводит к выравниванию водного режима во времени, обеспечивает влагой растения в засушливые периоды, минимизирует вынос химических и питательных веществ с дренажным стоком. По аналогии и в отличие от Л. Ф. Кожушко [7] понятие аккумуляции будем рассматривать как поглощение загрязняющих веществ мелиорантом.

Таким образом, необходимо решить задачу относительно научного обоснования мелиоративных природоохранных мер для защиты от загрязнения территорий и водных объектов в зоне складирования ТБО, усовершенствования научно-методических подходов к обоснованию их вида, состава, конструкции и параметров с соблюдением современных эколого-экономических требований.

Исходя из рассмотренных предпосылок, решение данной научной задачи может быть реализовано на основе *мелиоративных мероприятий (ММ)*, которые включают

- внесение мелиоранта-сорбента,
- устройство дренажно-аккумулирующих систем

и, в отличие от существующих, дают возможность локализовать и нейтрализовать загрязняющие вещества с соблюдением современных экологических и экономических требований (рис. 25.5).

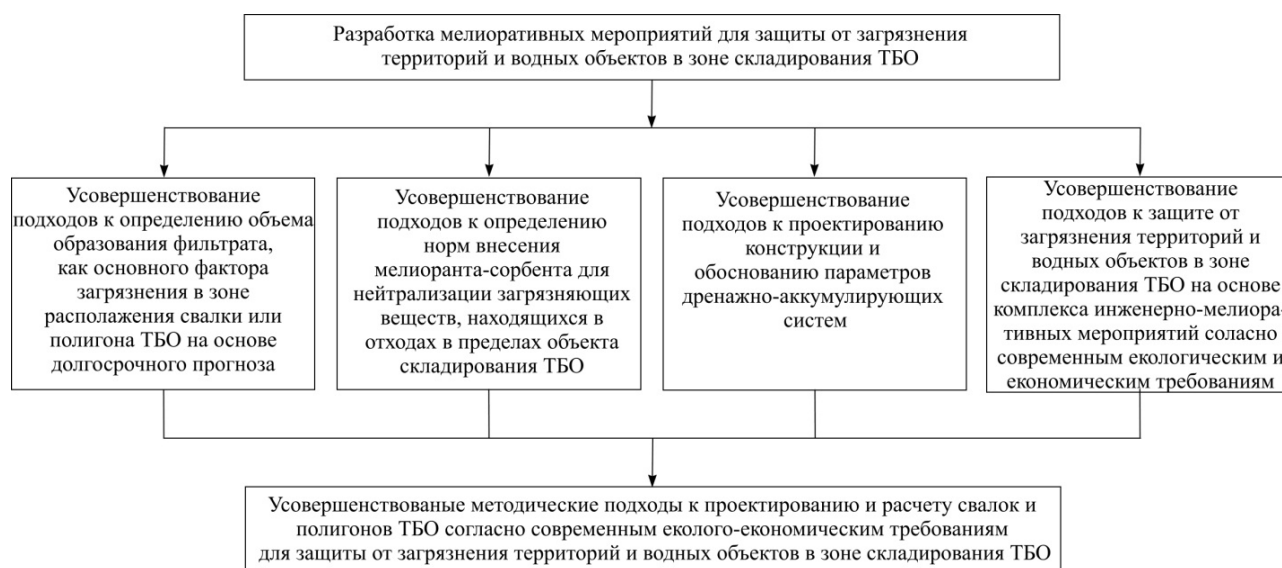


Рис. 25.5. Структурная схема исследований относительно защиты от загрязнения территорий и водных объектов в зоне складирования ТБО на основе ММ

Таким образом, научное обоснование эффективных эколого-мелиоративных мер для защиты от загрязнения территорий и водных объектов в зоне складирования ТБО, усовершенствование научно-методических подходов к обоснованию их вида, состава, конструкции и параметров является чрезвычайно важной задачей.

25.4. Прогнозная оценка на долгосрочной основе объема и режима образования фильтрата как основного фактора загрязнения

Традиционно теоретической основой исследования прогнозной оценки водного режима в мелиорациях служат обоснованные и апробированные на практике методы моделирования водного баланса (ВБ), которые могут быть применены для решения разных задач, возникающих при проектировании и эксплуатации сложных ПТС, а именно гидромелиоративных систем, свалок, полигонов ТБО

и др. Разработкой и развитием таких методов в общей теории и практике осушительных мелиораций занимались А. М. Янголь, О. В. Скрипник, А. В. Яцик, М. О. Лазарчук, А. Н. Рокочинский [15] и в условиях орошения А. Н. Костяков, А. А. Род, С. И. Харченко, М. И. Ромашенко, Ю. О. Михайлов, В. А. Розгон и др. [5].

При этом водный баланс может быть представлен в интегральной и дифференциальной формах и рассчитываться аналитическими и графическими методами [15]. Метод ВБ отличается:

- обоснованностью решений, опирающихся на закон сохранения массы вещества;
- достоверностью результатов, которые отображают условия реальных объектов;
- максимальным приближением решений к конкретным природным условиям и средствам мелиорации и охраны окружающей среды;
- широким диапазоном применения и относительной простотой его реализации на всех уровнях принятия решений.

Необходимой предпосылкой для расчетов ВБ любой ПТС является создание расчетной схемы. В данном случае решение поставленной задачи нуждается в разработке общих расчетных схем для двух типов природно-техногенных объектов, которые рассматриваются, – свалки и полигона ТБО, причем каждая из этих схем должна включать возможность определения величин составных уравнения ВБ в зависимости от стадии и условий функционирования таких объектов.

В отличие от традиционных подходов, которые используются в мелиорации, рассмотрение водного баланса территории складирования отходов осуществляем по двум расчетным схемам – для свалки и для полигона ТБО. Это обусловлено существенными отличиями в конструкции и условиях эксплуатации таких объектов, а следовательно, разными сценариями хода физико-химических процессов.

По аналогии и в отличие от традиционной расчетной схемы и модели ВБ мелиорированного поля и системы в целом, расчетная схема для свалки ТБО может быть представлена в общем случае в виде трехкомпонентной схемы, с учетом не только традиционных изменений влагозапасов в верхнем слое грунта (зоне аэрации) и грунтовых вод, но и в самых отвалах ТБО (рис. 25.6).

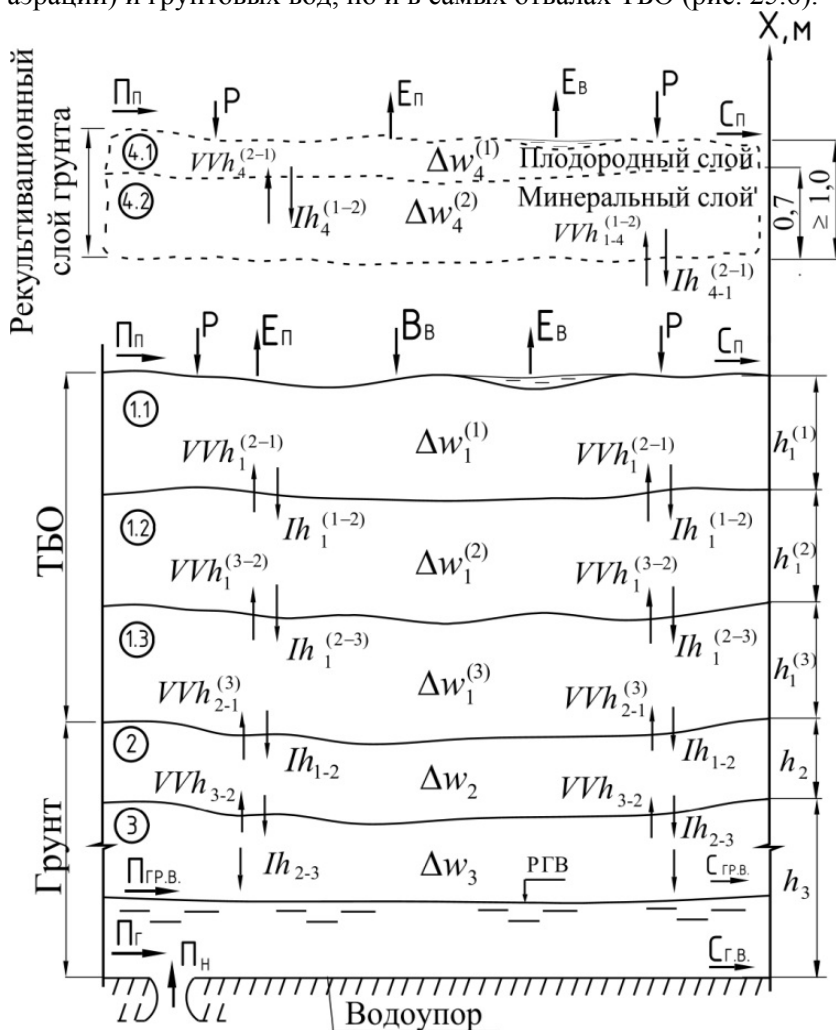


Рис. 25.6. Расчетная схема водного баланса свалки ТБО

В свою очередь, расчетная схема и модель ВБ для полигона ТБО, вследствие его конструктивных отличий от мусорной свалки, может быть представлена в общем случае в виде двухкомпонентной схемы с учетом изменений влагозапасов собственно в отвалах ТБО и в основе полигона – песчано-гравийной засыпке вокруг дренажа (рис. 25.7).

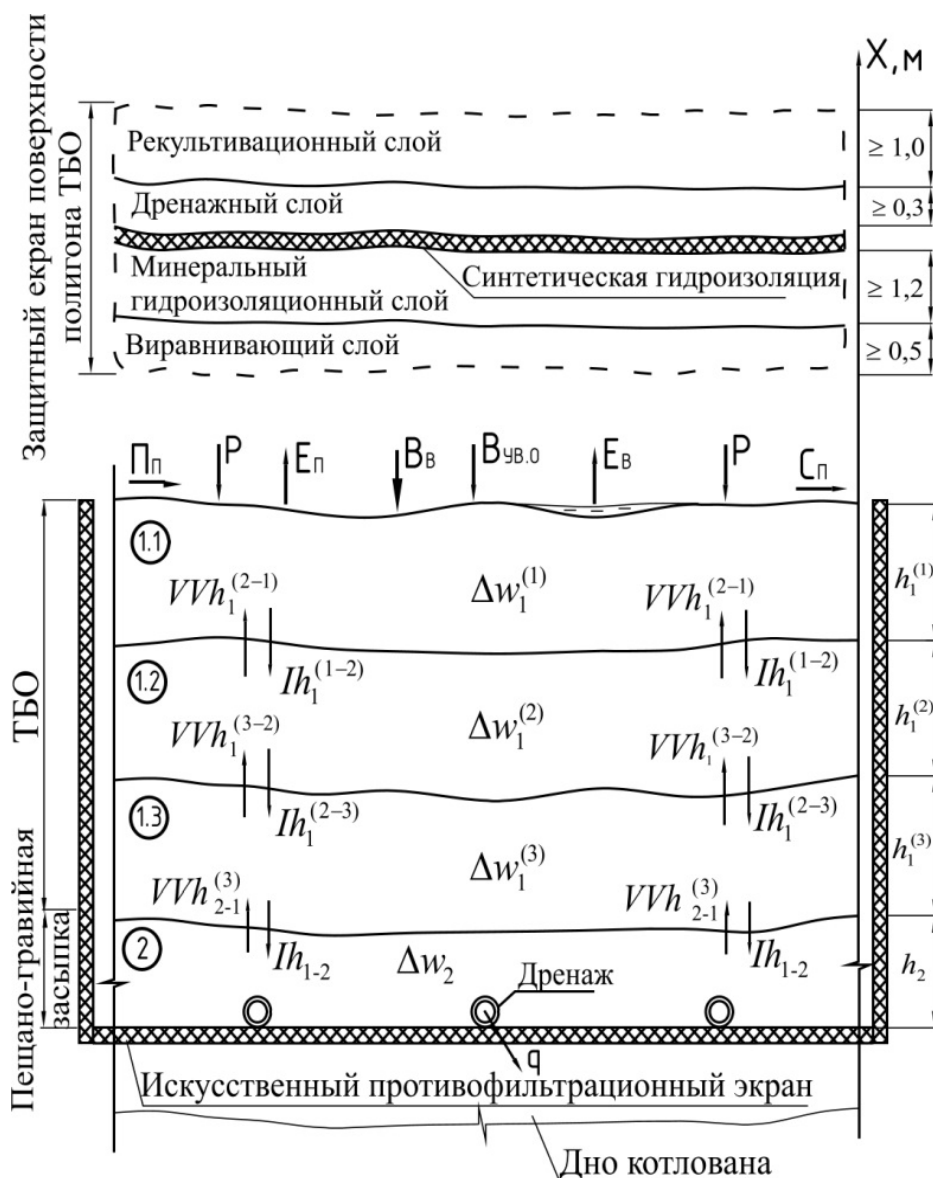


Рис. 25.7. Расчетная схема водного баланса полигона ТБО

Изложенное показывает, что характерной особенностью, но одновременно присущей обеим схемам водобалансовых расчетов массива отходов, является зона ТБО (рис. 25.6 и 25.7).

В отличие от естественных грунтов техногенный грунт свалки и полигона ТБО имеет неоднородные пористо-фильтрационные характеристики. В его толще постоянно происходят разложение органики, газовыделение, фильтратообразование и химическое взаимодействие. Эти процессы сопровождаются трансформацией скелета грунта, постоянным продуцированием новых пор и «схлопыванием» старых микроотверстий. Поэтому для реализации ММ и проведения водобалансовых расчетов свалки или полигона ТБО, по возможности с более полным и объективным учетом физических показателей состояния отходов, которые на нем складировались, необходимо рассматривать массив отходов как сложную систему, которая содержит зоны с разными водно-физическими и физико-химическими свойствами.

Отечественный и зарубежный опыт изучения физического содержания трансформации массива отходов как сложной ПТС и его математического описания, в частности с использованием метода главных компонент, а также результаты собственных исследований [3, 4 и др.] определяют необходимость дифференцировать этот массив на слои разного состояния вещества отходов, его водно-физических, физических, физико-химических и тепловых свойств, условий разложения и

др. и дали возможность выделить в теле ТБО три зоны состояния вещества: аэробную (25.1), переходную (25.2) и анаэробную (25.3) (рис. 25.6 и 25.7).

Так, в *аэробной зоне* в диапазоне глубин 0...3 м наблюдается саморазогревание массива отходов к значениям температур больше 60 °С. Из верхних пластов, наиболее близких к атмосфере, происходит интенсивное выпаривание влаги. Отходы в верхних пластах характеризуются высокой пористостью ($K_{II} = 0,30...0,58$) и способностью к фильтрованию ($K_{\phi} = 0,60...0,85$ м/сут) и низким водонасыщением ($K_B = 0,17...0,39$) вследствие гравитационного оттока влаги $h_{1,1-1,2}$ в нижние слои ТБО.

В *переходной зоне* (3...6 м от поверхности) режим перехода от аэробных к анаэробным условиям квазистационарный вследствие неравномерного во времени и пространстве поступления атмосферного воздуха и осадков из поверхности. Отходы в этой зоне характеризуются меньшей относительно аэробной зоны пористостью ($K_{II} = 0,15...0,30$) и способностью к фильтрованию ($K_{\phi} = 0,35...0,60$ м/сут), однако большим водонасыщением ($K_B = 0,51...0,62$).

В *анаэробной зоне*, которая, как правило, находится на глубинах больше 6 м, существенным образом уменьшено поступление кислорода с поверхности. Здесь имеют место относительно незначительный диапазон варьирования значений температур как в теплую, так и в холодную пору года, наиболее высокие значения водонасыщения ($K_B = 0,67...0,89$), что связано с обводнением зоны гравитационным оттоком влаги $h_{1,2-1,3}$. Эта зона характеризуется наиболее высокой плотностью отходов ($K_{II} = 0,10...0,15$) и низкими фильтрационными характеристиками ($K_{\phi} = 0,15...0,35$ м/сут). Термогенез в анаэробной зоне сдерживается вследствие постоянного охлаждения нижних пластов отходов геологической средой.

Таблица 25.2

Водно-физические характеристики разных зон массива отходов

Зона	Диапазоны показателей				
	Влажность, %	Объемная масса, т/м ³	Коэффициент водонасыщения	Коэффициент пористости	Коэффициент фильтрации, м/сут
Анаэробная	78,3...89,6	0,82...1,12	0,17...0,39	0,10...0,15	0,15...0,35
Переходная	62,5...78,3	0,54...0,82	0,51...0,62	0,15...0,30	0,35...0,60
Аэробная	41,0...73,4	0,32...0,54	0,67...0,89	0,30...0,58	0,60...0,85

Водный баланс в зоне расположения свалки мусора или полигона ТБО должен определяться и проектироваться на основании детальных расчетов по совокупности соответствующих режимных характеристик приходных и расходных элементов водного баланса через их изменение в течение расчетного периода, который в данном случае составляет 1 год, (м³/га) [1]

$$\pm \Delta W = \Pi - P, \quad (25.1)$$

где $\pm \Delta W$ – изменение общих запасов влаги на исследуемой территории за расчетный период;

Π, P – соответственно общие приходные и расходные составляющие водного баланса.

В общем случае приходную часть водного баланса свалки мусора как сложной ПТС составляют: атмосферные осадки P , поступление поверхностных Π_{II} , грунтовых $\Pi_{Г}$ и напорных вод $\Pi_{Н}$, поступление почвенной влаги $\Pi_{П.В}$, конденсация K влаги (роса, иней и др.), состоящая из конденсации на поверхности K_{II} и в зоне аэрации K_A ($K = K_{II} + K_A$), влага, поступившая с отходами $V_{П.О}$. (рис. 25.6).

В отличие от формирования приходных частей водного баланса свалки, составные баланса полигона ТБО не включают таких элементов, как приток грунтовых $\Pi_{Г}$, напорных вод $\Pi_{Н}$ и грунтовой влаги $\Pi_{ГР.В}$ в связи с обязательным устройством противофильтрационного экрана из полимерных или естественных материалов по дну и откосам котлована складирования ТБО [13]. Дополнительным элементом формирования приходных частей уравнения ВБ полигона ТБО, в отличие от свалки, выступает влага, которая используется для дополнительного увлажнения отходов $V_{В.О}$, что предусмотрено правилами эксплуатации полигонов [13] (рис. 25.7).

Расходную часть баланса формируют: суммарное испарение E , включающее испарение E_{II} на поверхности ТБО и водной поверхности E_B при ее наличии на объекте, поверхностный сток C_{II} , сток почвенной влаги $C_{П.В}$, сток грунтовых и напорных вод $C_{ГВ}$ ($C_{ГВ} = \Pi_{Г} + \Pi_{Н}$) за пределы балансового участка (рис. 25.6).

Понятно, что расходную часть водного баланса полигона ТБО будет представлять лишь суммарное испарение E , которое включает испарение E_{II} с поверхности ТБО и водной поверхности E_B , а также поверхностный сток C_{II} (рис. 25.7).

В общем случае уравнение ВБ для свалки ТБО имеет такой вид

$$\Delta W^{(S)} = \sum_{i=1}^4 \Delta w_i, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (25.2)$$

где $\Delta w_1, \Delta w_2, \Delta w_3, \Delta w_4$ – изменение влагозапасов соответственно в отвалах ТБО, верхнем слое грунта (зоне аэрации), зоне грунтовых вод, рекультивационном слое;

ΔW – общее изменение влагозапасов по расчетному профилю мусорная свалка за расчетный период;

i – количество расчетных пластов по профилю свалки мусора, $i = \overline{1,4}$.

В свою очередь, уравнение ВБ для полигона ТБО имеет такой вид

$$\Delta W^{(P)} = \sum_{l=1}^2 \Delta w_l, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (25.3)$$

где $\Delta w_1, \Delta w_2$ – изменение влагозапасов соответственно в отвалах ТБО и песчано-гравийной засыпке вокруг дренажа;

l – количество расчетных пластов по профилю полигону ТБО, $l = \overline{1,2}$.

Поскольку отвалы ТБО являются общим элементом как для схемы свалки мусора, так и для полигона, то расчеты изменений их влагозапасов $\Delta w_{i,l}$ при $i = 1, l = 1$ будет определяться как

$$\Delta w_i = \sum_{j=1}^3 \Delta w_i^{(j)}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (25.4)$$

$$\Delta w_l = \sum_{j=1}^3 \Delta w_l^{(j)}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (25.5)$$

где $\Delta w_i^{(j)}, j = \overline{1,3}$ – изменение влагозапасов соответственно в аэробной, переходной, анаэробной зонах отвалов ТБО свалки;

$\Delta w_l^{(j)}, j = \overline{1,3}$ – изменение влагозапасов соответственно в аэробной, переходной, анаэробной зонах отвалов отходов полигона ТБО;

j – количество расчетных зон отвалов ТБО, $j = \overline{1,3}$.

Для рекультивационного слоя $\Delta w_i, i = 4$ будет определяться как

$$\Delta w_4 = \sum_{k=1}^2 \Delta w_4^{(k)}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (25.6)$$

где $\Delta w_4^{(1)}, \Delta w_4^{(2)}$ – изменение влагозапасов соответственно плодородного и минерального слоя рекультивационного грунта;

k – количество слоев рекультивации, $k = \overline{1,2}$.

Изменение влагозапасов $\Delta w_i, i = \overline{1,4}; \Delta w_l, l = \overline{1,2}; \Delta w_i^{(j)}, i = 1, j = \overline{1,3}; \Delta w_l^{(j)}, l = 1, j = \overline{1,3}$ и $\Delta w_i^{(k)}, i = 4, k = \overline{1,2}$ – могут принимать положительные и отрицательные значения.

В дальнейшем, в зависимости от естественных, антропогенных условий, типа реального объекта, стадии и направления его использования как количество элементов схем свалки или полигона ТБО, так и структура расчетов ВБ по ним могут уточняться.

Режим образования фильтрата должен определяться и проецироваться на основании детальных расчетов по совокупности соответствующих режимных характеристик прибыльных и затратных элементов ВБ через них изменение в течение расчетного периода (1 года), который целесообразно рассматривать как совокупность «холодного» (1–9 и 26–36 декады) и «теплого» (10–25 декады) периодов.

Водный режим свалки мусора через его основные характеристики – влагозапасы массива отходов $w_1 = f(\tau)$, зоны верхнего пласта грунта (аэрации) $w_2 = f(\tau)$, зоны грунтовых вод $w_3 = f(\tau)$ и рекультивационного слоя $w_4 = f(\tau)$ – при фиксированных водно-физических свойствах среды и оконченных отрезков времени (τ), $\tau = \overline{\tau, \tau}$ в пределах расчетного (p -го относительно влагообеспеченности) периода года в общем виде схематично можно представить

$$F(w_1, w_2, w_3, w_4, \tau) = N_0 + \sum_{\tau=\underline{\tau}}^{\bar{\tau}} f_{\tau}(P_{\tau}, E_{\tau}, V_{\tau}, K_{\tau}, R_{\tau}), \quad (1.7)$$

где N_0 – начальные условия;

P_{τ} – осадки;

E_{τ} – суммарное испарение;

$V_{\tau} = f_{\tau}(w_1, w_2)$ – функция влагообмена массива отходов с зоной верхнего пласта грунта (аэрации);

$K_{\tau} = f_{\tau}(w_2, w_3)$ – функция влагообмена зоны верхнего слоя грунта (аэрации) с зоной УГВ;

$R_{\tau} = f_{\tau}(w_4, w_1)$ – функция влагообмена рекультивационного слоя с массивом отходов – для

периода времени $\tau = \overline{\tau}$, меняющийся от начала $\underline{\tau}$ к его окончанию $\bar{\tau}$.

В свою очередь, водный режим полигона ТБО через его основные характеристики влагозапасов массива отходов $w_1 = f(\tau)$ и влагозапасов зоны песчано-гравийной засыпки $w_2 = f(\tau)$ – при фиксированных физических-водно-физических свойствах среды и оконченных отрезках времени (τ), $\tau = \overline{\tau}$ в пределах расчетного (p -го относительно влагообеспеченности) периода года в общем виде схематично можно представить как

$$F(w_1, w_2, \tau) = N_0 + \sum_{\tau=\underline{\tau}}^{\bar{\tau}} f_{\tau}(P_{\tau}, m_{\tau}, E_{\tau}, L_{1\tau}), \quad (25.8)$$

где $L_{1\tau} = f_{\tau}(w_1, w_2)$ – функция влагообмена массива отходов с зоной песчано-гравийной засыпки;

m_{τ} – объем воды, которая подается на дополнительное увлажнение отходов согласно условиям эксплуатации полигона ТБО.

Остальные обозначения аналогичны предыдущим. При этом процесс формирования водного режима рассчитывается на основе взаимосвязи и взаимообусловленности его определяющих составляющих на границах принятого расчетного пласта участка складирования отходов и в увязке с процессом перераспределения влаги внутри него.

Практическая реализация модели водного режима свалки и полигона ТБО должна базироваться на использовании предварительно полученных результатов согласно соответствующим моделям прогноза метеорологических условий местности (типическое распределение метеофакторов) и реализовываться по модели вида

$$WPh_{\tau} = WPh_{\tau-1} + P_{\tau} + m_{\tau} - EP_{\tau} - Vlh_{\tau}, \quad \tau = \overline{1, n_{\tau}}, \quad (25.9)$$

при обязательном соблюдении требования, которое при любых текущих природно-мелиоративных условиях будет записано как

$$0 \leq WPh_{\tau} \leq WPh_{\tau}^0. \quad (25.10)$$

Таким образом, достигается более точное решение балансового уравнения, положенного в основу модели, которая не нарушает физическое содержание сложного явления, представляющего собой водный режим объекта складирования отходов, и предопределяющих его природно-мелиоративных факторов.

Определение режимно-технологических параметров составляющих модели водного режима свалок и полигонов ТБО осуществляется согласно модели метеорологических режимов на долгосрочной основе в виде типического распределения основных метеофакторов [15, 8].

Таким образом, рассмотренные методы и модели дают возможность довольно простым и эффективным образом определять объем фильтрата в периоды расчетной водообеспеченности в условиях любой свалки или полигона ТБО с помощью водобалансовых расчетов и могут быть успешно использованы для дальнейшей разработки ММ для защиты от загрязнения территорий и водных объектов в зоне складирования ТБО в общем и при определении нормы внесения мелиоранта-сорбента в частности.

25.5. Обоснование нормы внесения мелиоранта-сорбента в мелиоративных мероприятиях

С учетом положений, изложенных в литературе [2, 5], свалки и полигоны ТБО как технологические и пространственные объекты относятся к распространенным и сложным ПТС, а потому неразрывно связаны с объектами окружающей среды и вследствие многолетних нарушений экологических

норм эксплуатации отрицательно влияют на состояние его компонентов: грунтов, подземных и поверхностных водных источников, атмосферы, биоты и т. п. [2, 4, 5].

Традиционно в водохозяйственно-мелиоративных исследованиях вопросы улучшения физико-химических и водно-физических свойств, прежде всего грунтов, решаются на основе применения широкого спектра мелиорантов, в перечень которых входят полезные ископаемые местного значения и природные сорбенты [5].

В последнее время использованию природных материалов-сорбентов и теоретической основе их применения – методам сорбционной очистки отводится все большее внимание при решении задач предотвращения и снижения степени негативного влияния загрязнителей на систему «атмосфера – грунт – грунтовые воды» в пределах антропогенной геосистемы участка складирования отходов. Искусственные адсорбенты, такие как активированный уголь, вследствие высокой стоимости имеют ограниченную сферу использования, поэтому все большее внимание научных работников и практиков предрасполагают относительно недорогие материалы-сорбенты преимущественно естественного происхождения, а именно торф, глинистые минералы, латеритные, известняковые грунты, естественные цеолиты и т. п. [5].

В современной практике в хозяйственной деятельности широко используются как традиционные, так и нетрадиционные виды мелиорантов. Исследование по определению экологической роли применения наиболее известных традиционных мелиорантов (известь и гипс) в природоохранной деятельности, в частности для инактивации тяжелых металлов в системах «грунт – растение и грунт – грунтовые воды» показаны авторами А. Н. Небольсиным, А. В. Ивойловым, D. P. Oliver, M. K. Conyers, W. J. Slattery, A. M. Alson, W. R. Berti, S. D. Cunningham [5].

Среди нетрадиционных видов мелиорантов можно выделить суглинки, мергели, вулканические туфы и другие полезные ископаемые местного значения.

В качестве мелиоранта-сорбента нами предлагается использование промышленного отхода и побочного продукта добычи базальта – цеолит-сметитового туфа. В научной литературе появляется все больше публикаций, которые посвящены применению туфа в народном хозяйстве в качестве полезного ископаемого местного значения, мелиоранта и минерала сменного состава, который имеет развитую сорбционную структуру и относится к дешевым природным сорбентам [5]. Цеолиты как естественные минеральные сорбенты оказались перспективными нейтрализующими агентами широкого спектра токсичных химических веществ и материалов, которые используются в хозяйственной деятельности. Химико-геологические параметры цеолитов дают возможность использовать их при решении проблем охраны ОПС, в сельском хозяйстве, промышленности, в качестве сорбентов, катализаторов, фильтров, пролонгаторов удобрений, вяжущих материалов и т. п.

Туфы Ровенщины – продукты вулканического извержения базальтовой магмы в раннем венде, приблизительно 600 млн лет тому. Они составлены вулканическим пеплом и песком, уплотненным, сцементированным и в дальнейшем перекристаллизованным под действием горячих подземных вод [5].

Ровенской геологической экспедицией в процессе глубинного геологического картографирования, вулканические туфы на Ровенщине раскрыты десятками буровых скважин и несколькими карьерами, а также прослеживаются вдоль западного склона Украинского кристаллического щита в виде полосы шириной 1...10 км на глубинах 5...200 м (рис. 25.8) [5].

Загрязнение окружающей среды объектами складирования отходов происходит с высвобождением из последних токсичных химических соединений в *жидком, твердом и газообразном* агрегатном состоянии (АС). Необходимость выполнения мелиорантом-сорбентом нескольких функций при экологическо-безопасном сохранении ТБО требует рассматривать норму его внесения как многокомпонентную величину M_C , представленную составляющими (рис. 25.9).

В свою очередь, нормы внесения мелиоранта-сорбента M_1 , M_2 , M_3 являются базовыми показателями, которые определяют массу цеолит-сметитового туфа, которую необходимо внести в течение года для адсорбции совокупности загрязняющих веществ, находящихся в определенном состоянии, соответствующем норме внесения АС. Понятно, что, владея данными относительно базовых показателей годовых норм внесения, можно перейти к их удельным значениям, рассчитанным на единицу объема биогаза m_1 , фильтрата m_3 или принятых отходов m_2 , m_C .

Поэтому общая годовая норма внесения мелиоранта-сорбента M_C может быть определена по формуле вида

$$M_C = \sum_{i=1}^3 M_{i, кг/год}, \quad (25.11)$$

где M_1 – общая годовая норма внесения цеолит-сметитового туфа для поглощения (очистки) биогаза, $кг/год$;

M_2 – аналогичная норма внесения цеолит-сметитового туфа для частичного поглощения (очистки) биогаза и адсорбции загрязняющих веществ из потока фильтрата, $кг/год$;

M_3 – общая годовая норма внесения цеолит-сметитового туфа для очищения фильтрационного потока, $кг/год$.

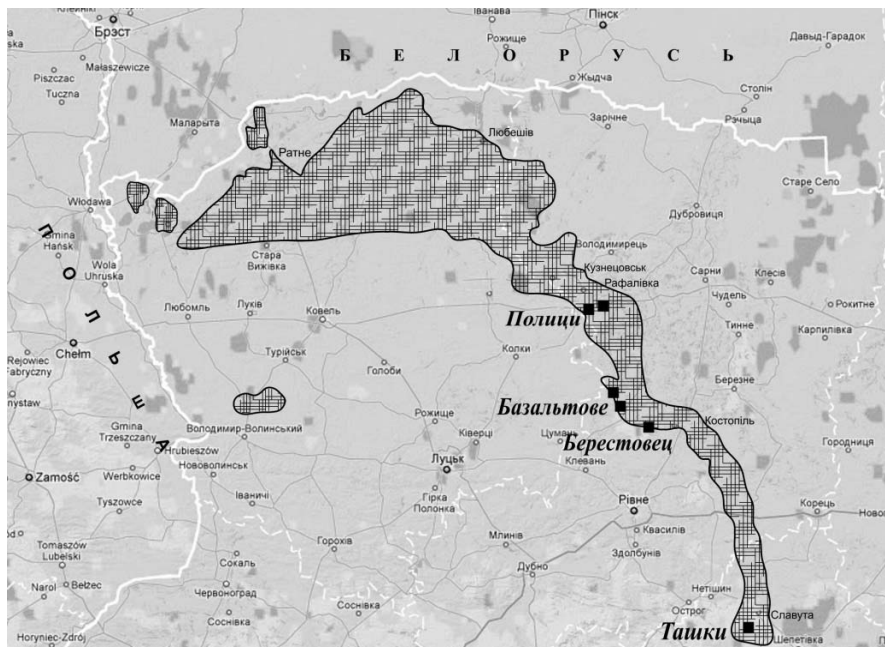


Рис. 25.8. Схема выхода туфов на поверхность в действующих карьерах



– выходы туфов на мезозойско-кайнозойскую поверхность;



– выходы туфов в карьерах.

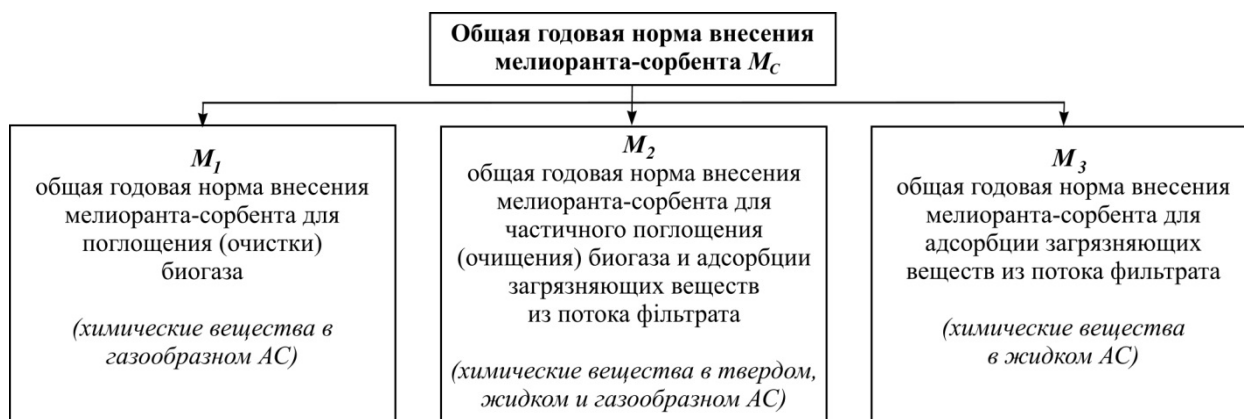


Рис. 25.9. Составные части нормы внесения мелиоранта-сорбента M_C

Расчеты годовой нормы внесения цеолит-сметитового туфа M_1 как мелиоранта-сорбента невозможны без данных относительно объемов образования биогаза в целом и метана CH_4 как его основной составляющей части в частности.

Для расчетов потенциала образования биогаза используются математические модели [5], которые в разной мере учитывают особенности полигонов ТБО, однако наиболее распространена формула US EPA [17]

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left(\frac{N_i}{10} \right) e^{-kt_{i,j}}, \text{ м}^3 / \text{год} , \quad (25.12)$$

где Q_{CH_4} – объем образования CH_4 в течение года, для которого осуществляется расчеты, $м^3 / год$;

$i = 1$ – шаг расчетов по годам приема ТБО;

n – год, для которого осуществляются расчеты (поточный год приема ТБО);

$j = 0,1$ – шаг расчетов в пределах конкретного года приема ТБО;

k – коэффициент скорости образования метана, $1 / год$;

L_0 – метанообразующий потенциал в соответствующие годы, $м^3 / м$;

N_i – масса ТБО, которая принимается на объект складирования отходов в i -тый год, $т$;

$t_{i,j}$ – возраст j -той секции ТБО массой N_i , что принимается в i -том году.

Расчет по формуле (25.12) дает возможность оценить общий метановый потенциал полигона ТБО за усредненным морфологическим составом отходов с учетом структуры массива ТБО.

Определение объема NH_3 , H_2S , PBT , NMO или других веществ ψ , $\psi = \overline{1, n_\psi}$, которые содержатся в биогазе, может быть осуществлено по формуле

$$Q_\psi = 1,82 Q_{CH_4} \cdot \frac{S_\psi}{100}, \quad м^3 / год, \quad (25.13)$$

где Q_ψ – объем образования PBT , NMO или другого вещества ψ , $\psi = \overline{1, n_\psi}$, $м^3 / год$;

Q_{CH_4} – объем образования CH_4 в течение года, $м^3 / год$;

S_ψ – содержание конкретного вещества ψ , $\psi = \overline{1, n_\psi}$ в биогазе, % от объема;

1,82 – коэффициент увеличения (учитывает, что 55% биогаза составляет CH_4 и 45% составляют CO_2 , NH_3 , H_2S и другие вещества);

n_ψ – количество загрязняющих веществ ψ в биогазе, для которых рассчитывается Q_ψ .

Тогда годовая норма внесения цеолит-сметитового туфа $M_{1\psi}$, необходимая для поглощения любой составляющей биогаза ψ , $\psi = \overline{1, n_\psi}$ (CH_4 , CO_2 , NH_3 , NMO и др.), определяется по усовершенствованному нами выражению согласно [17].

$$M_{1\psi} = 10 \cdot Q_\psi \cdot \left(\frac{Mr_\psi \cdot 1 \text{ атм}}{R \cdot 1000 \cdot (273 + T)} \right), \quad кг / год, \quad (25.14)$$

где $M_{1\psi}$ – годовая норма внесения цеолит-сметитового туфа для поглощения загрязняющего вещества ψ , $\psi = \overline{1, n_\psi}$ из биогаза, $кг / год$;

Mr_ψ – молярная масса вещества ψ , $\psi = \overline{1, n_\psi}$, поглощение которой осуществляется мелиорантом-сорбентом, $г / моль$;

R – универсальная газовая стала, $8,205 \cdot 10^{-5} \frac{м^3 \cdot атм}{моль \cdot К}$;

T – температура биогаза, $^{\circ}C$.

Таким образом, годовая норма внесения цеолит-сметитового туфа $M_{3\varphi}$, необходимая для очищения фильтрационного потока путем адсорбции загрязняющего вещества φ , $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$ концентрацией C_φ , которая содержится в объеме фильтрата W_{th} , образующегося в течение одного года эксплуатации в пределах объекта складирования ТБО площадью F , может быть определена следующим образом (на примере ионов Cl^-)

$$M_{3Cl^-} = \frac{W_{th} F C_{Cl^-} / 1000}{2,86 \cdot 10^{-4} \cdot C_{Cl^-}^{0,2586}} \quad кг / год, \quad (25.15)$$

где W_{th} – объем фильтрата, который образовывается в течение года с единицы площади, $м^3 \cdot га / год$;

F – площадь объекту складирования отходов, $га$;

C_{Cl^-} – равновесная концентрация ионов Cl^- в фильтрате, $мг / л$;

$2,86 \cdot 10^{-4}$ – параметр a , $мг^{1-1/n} г^{-1} л^{1/n}$;

$0,2586 = 1/n$ – безразмерный эмпирический коэффициент уравнения Г. Фрейндлиха;

n_φ – количество загрязняющих веществ φ в фильтрате, для которых рассчитывается годовая норма внесения мелиоранта-сорбента $M_{3\varphi}$.

В связи со сложностью процессов, которые происходят в гетерогенном грунте массива складирования отходов, а также исходя из условий эксплуатации свалок и полигонов ТБО расчет годовой нормы внесения цеолит-сметитового туфа в пласт отходов M_2 в первом приближении может быть осуществлен на основе применения экологического правила 10 % [14] и определен как сумма соответствующих частиц годовых норм внесения M_1 и M_3 , то есть

$$M_2 = 0,1(M_1 + M_3), \text{ кг / рік} . \quad (25.16)$$

Итак, установлено, что особенности образования фильтрата в течение года, а также его многокомпонентность и неустойчивый качественный состав требуют разработки соответствующих концепций и новых подходов к решению задачи его очистки. Традиционным водохозяйственно-мелиоративным подходом относительно снижения или ликвидации токсичных процессов, вызванных загрязнением, является применение широкого спектра мелиорантов. Последние способны выполнять функцию восстановления естественного состояния грунтовой системы, влияя на реакцию грунта и физико-химические свойства грунтов, миграционные процессы в системе «грунт – грунтовые воды», что является полезным их свойством при использовании в природоохранной деятельности.

Определение нормы внесения мелиоранта-сорбента как интегральной характеристики многокомпонентной величины, которая, в отличие от имеющихся, обеспечит нейтрализацию многофазовых загрязнителей относительно разных их агрегатных состояний в отходах, фильтрате и биогазе. При этом схемы расчетов нормы его внесения определяются уровнем принятия решений во времени и предусматривают ее дифференциацию по основным составляющим элементам объекта складирования отходов: верхний слой, массив отходов, а также траншеи-поглотители.

25.6. Обоснование конструкций и параметров дренажно-аккумулирующих сетей

Техногенный поток фильтрата со свалки или полигона ТБО оказывает продолжительное негативное действие на окружающий ландшафт и меняет всю биогеохимическую обстановку, приводя таким образом к нарушению ландшафтно-геохимической структуры естественной системы. Поэтому по аналогии и в отличие от рассмотренной комбинированной дренажной системы с фильтрующе-аккумулирующими элементами (см. п. 25.3), с учетом сложной задачи междисциплинарного характера относительно разработки ММ и результатов собственных системных исследований нами предлагаются дренажно-аккумулирующая и интенсивная дренажно-аккумулирующая системы, которые могут быть применены для локализации загрязнения, очищения и безопасного отвода фильтрационных вод в зоне складирования ТБО.

Согласно литературным источникам [2, 7, 5], а также вследствие наличия процессов фильтрации, физической адсорбции, хемосорбции и др., **дренажно-аккумулирующая система (ДАС)** выступает в качестве техногенного геохимического барьера, то есть искусственно созданного участка ландшафта, в котором на относительно коротком расстоянии происходит уменьшение интенсивности миграции химических элементов, вследствие чего увеличивается их концентрация. Она представляет собой совокупность последовательно соединенных элементов в виде бесполостных дренажных устройств – дренажных траншей-поглотителей.

Дренажная траншея-поглотитель (ДТП) – основной конструктивный элемент ДАС, представляет собой водоотводное дренажное устройство (траншею), заполненное активным сорбционным (мелиорантом-сорбентом) и пассивным фильтрующим материалом (песок, грунт и т. п.) для обеспечения локализации и дальнейшей нейтрализации фильтрата, направляющегося в окружающую среду, путем механического очищения, физической и физико-химической сорбции.

Исходя из изложенного, систематическая ДАС в целом, ДТП в частности и составные конструктивные элементы – слои мелиоранта-сорбента в основе котлована и в отвалах отходов выступают в качестве техногенных вертикальных плоскостных геохимических барьеров (рис. 25.10).

Движение загрязнения также осуществляется в горизонтальном направлении, что в основном обусловлено конвективной (в потоке ГВ) и диффузной (в грунте) миграцией компонентов, поэтому в данном случае локализацию и нейтрализацию вредных химических соединений предусмотрено осуществлять в ДТП, устроенных по периметру объекта складирования отходов. Образованная таким образом ДАС является оградительной и выступает в качестве техногенного латерального геохимического барьера (рис. 25.11).

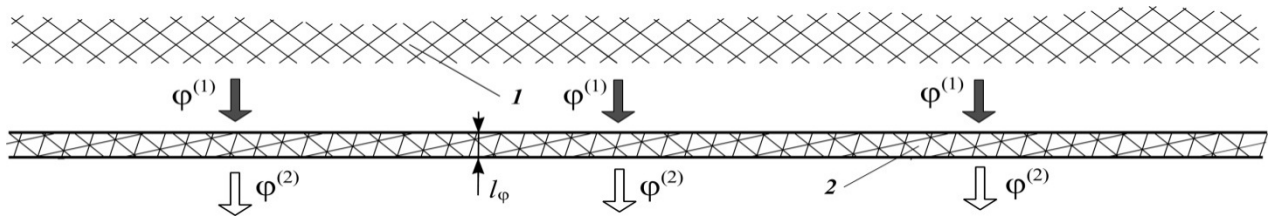


Рис. 25.10. Параметры и принцип работы техногенного вертикального плоскостного геохимического барьера объекта складирования отходов при применении ММ:

1 – отвалы ТБО; 2 – область концентрации элементов; $\varphi^{(1)}$, $\varphi^{(2)}$ – значение (концентрация) определенного химического соединения $\{\varphi\}$, $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$ соответственно и после барьера; l_φ – длина барьера.

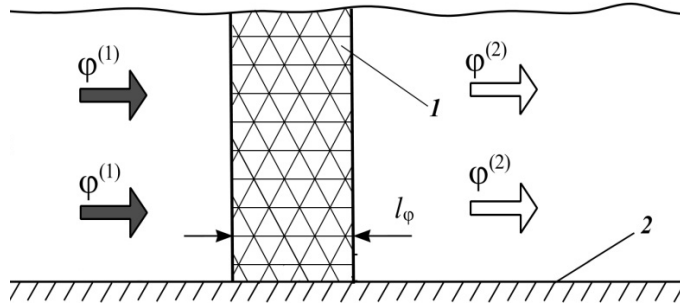


Рис. 25.11. Параметры и принцип работы техногенного латерального геохимического барьера (ДТП) объекта складирования отходов при применении ММ:

1 – область концентрации элементов; 2 – водоупорный пласт грунта. Остальные обозначения аналогичны предыдущим.

Для интенсификации понижения УГВ одновременно с возможностью локализации загрязняющих веществ и безопасного отвода влаги из массива отвалов ТБО нами разработана *интенсивная дренажно-аккумулятивная система (ИДАС)*, которая по аналогии и в отличие от ДАС является искусственно созданным участком ландшафта, на котором объединяются техногенные геохимический (мелиорант-сорбент) и гидрофизический (в виде материального дренажа) барьеры.

Интенсивная дренажная траншея-поглотитель (ИДТП) представляет собой основной конструктивный элемент ИДАС как интенсивно фильтрующее водоотводное средство (траншею), заполненное активным сорбционным (мелиорантом-сорбентом) и пассивным фильтрующим материалом. По дну траншеи устроены материальные (гончарные или пластмассовые) трубы, принимающие из грунта избыточные загрязненные фильтрационные воды и отводящие их через систему закрытых собирателей (коллекторов) к месту сбора и утилизации.

Принцип работы ИДАС определяется из приведенных выше предпосылок и состоит в следующем. Очень эффективным на практике является общее использование барьеров разной природы [1, 5], поэтому расчет конструкции и параметров ИДАС осуществляется с учетом совместной работы геохимического и гидрофизического барьеров (рис. 25.12, рис. 25.13).

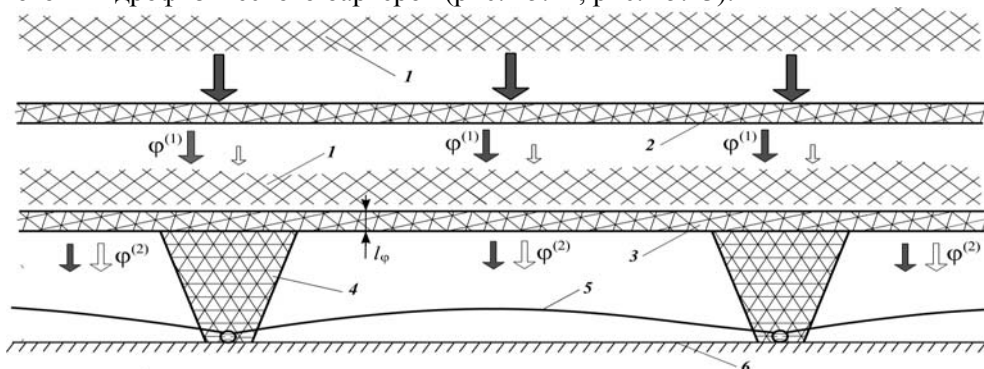


Рис. 25.12. Параметры техногенного вертикального плоскостного геохимического и гидрофизического барьеров объекта складирования отходов при применении ММ:

1 – отвалы отходов; 2, 3, 4 – области концентрации элементов соответственно в отвалах отходов, в основе свалки ТБО и в интенсивной систематической ДАС; 5 – УГВ; 6 – водоупорный пласт грунта. Остальные обозначения аналогичны предыдущим.

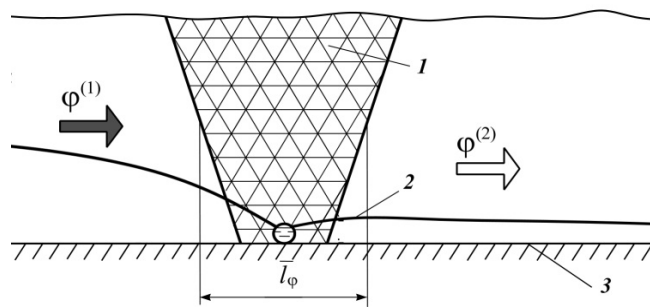


Рис. 25.13. Параметры техногенного латерального физико-химического и гидрофизического барьеров (ИДТП) в зоне складирования отходов при применении ММ:

1 – область концентрации элементов в интенсивной оградительной ДАМ; 2 – УГВ; 3 – водоупорный слой грунта; \bar{l}_φ – средняя длина барьера. Остальные обозначения аналогичны предыдущим.

Согласно конструкции и принципу действия ДАС как техногенный геохимический барьер и ИДАС как комбинированный вариант техногенного геохимического и гидрофизического барьеров предназначены для выполнения двух основных функций – *фильтрационной* (водоотводной) и *сорбционной* (поглощение многокомпонентных загрязняющих веществ из раствора фильтрационных вод на основе применения механизмов сорбции).

Смесь двух полидисперсных систем, а именно активного изолирующего материала – мелиоранта-сорбента и фильтрующего инертного материала (грунт, песок и т. п.), формирующего наполнение траншей-поглотителей, представляет собой *сорбционно-фильтрующую засыпку (СФЗ)*, которая одновременно обеспечивает реализацию двух указанных функций ДАС и ИДАС.

Таким образом, очищение потока грунтовой воды от загрязняющего вещества $\{\varphi\}$, $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$ при его прохождении через техногенный геохимический барьер длиной l_φ обеспечивается при условии, которое можно записать в виде:

$$t_\varphi = \frac{l_\varphi}{k_3} > t_r = 2\tau_{1/2\varphi}, \quad (25.17)$$

где t_φ – время прохождения потока грунтовой воды, которая загрязнена веществом $\{\varphi\}$, $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$ через (интенсивные) дренажные траншеи-поглотители (интенсивной) дренажно-аккумулирующей системы;

t_r – время реакции системы «цеолит – смектитовый туф – фильтрат» относительно поглощения конкретного вещества $\{\varphi\}$, $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$;

k_3 – коэффициент фильтрации засыпки траншеи-поглотителя ДАС.

При этом в качестве результирующего принимается максимальное значение

$$\max t_\varphi = \max \{t_{\varphi_i}\}, i = \overline{1, n_\varphi}. \quad (25.18)$$

Для локализации загрязнения, экологически-безопасного отвода фильтрата и понижения УГВ предусмотрено устройство дренажно-аккумулирующих и интенсивных дренажно-аккумулирующих систем. Последние при этом могут быть представлены двумя системами дренажа: систематическим и оградительным.

Как и в традиционных мелиорациях, систематическую ДАС или ИДАС предполагается устраивать непосредственно под площадкой складирования ТБО для очищения, перехвата и отвода фильтрата, который образовывается в результате взаимодействия и инфильтрации атмосферных осадков и влаги, внесенной с отходами.

В свою очередь, оградительную ДАС или ИДАС, которые выступают аналогами общепринятого в гидромелиорациях главного дренажа, предполагается устраивать по периметру объекта складирования ТБО для обеспечения очищения потока грунтовой воды (ДАС), или очищения и понижения его уровня (ИДАС).

По аналогии и в отличие от ДАС, в состав ИДАС входит систематический и оградительный дренаж, который состоит из дрен-осушителей, понижающих УГВ, захватывающих и транспортирующих фильтрационные воды к коллекторам, которые, в свою очередь, доставляют их на объект утилизации.

Систематическая ИДАС является аналогом общепринятого в гидромелиорациях систематического дренажа, который используется для равномерного осушения определенного грунтового массива и в основном перехватывает воду, поступающую при инфильтрации. Вместе с этим систематическая ИДАС представляет совместное функционирование техногенного вертикального геохимического и гидрофизического барьеров. Поэтому по аналогии с общепринятым в гидромелиорации подходом систематическая ИДАС устраивается в основе объекта складирования отходов и работает при поступлении фильтрационных вод в основном из анаэробной зоны ТБО (рис. 25.14).

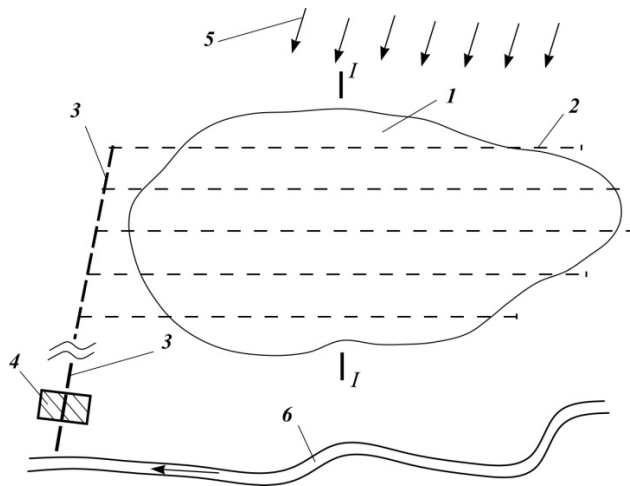


Рис. 25.14. Совместное расположение систематической ИДАС и объекта складирования отходов в плане:

1 – объект складирования ТБО; 2 – дрена систематической ИДАС; 3 – закрытый собиратель (коллектор); 4 – фильтр; 5 – направление движения грунтовых вод; 6 – водный объект

Устройство оградительной ИДАС целесообразно, когда она совместно выполняет функции латерального геохимического и гидрофизического барьеров. Тогда горизонтальная дрена ИДТП устраивается вдоль нижней границы объекта складирования отходов и осуществляет перехват (а СФЗ очищение) потока фильтрационных вод на его пути из нагорной стороны к близлежащей территории или водотоку. Отвод фильтрационной воды осуществляется через закрытые собиратели (коллекторы) и фильтр в водоприемник (рис. 25.15).

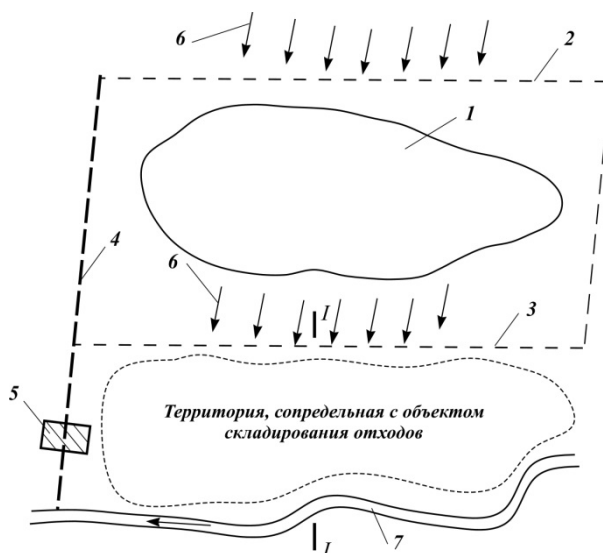


Рис. 25.15. Совместное расположение оградительной ИДАС и объекта складирования отходов в плане:

1 – объект складирования ТБО; 2 – дрена оградительной ИДАС (функционирует по принципу гидрофизического барьера); 3 – дрена оградительной ИДАС (совместное функционирование геохимического и гидрофизического барьеров); 4 – закрытый собиратель (коллектор); 5 – фильтр; 6 – направление движения грунтовых вод; 7 – водный объект.

Разработанный ряд образцов [9–12] защиты от загрязнения территорий и водных объектов, которые основываются на применении общего комплекса инженерно-мелиоративных мероприятий

(КИММ) – совокупности технических приемов, сооружений и систем для создания и поддержания экологически безопасного состояния ландшафтов в зоне расположения свалок и полигонов ТБО, а также объектов-загрязнителей разного происхождения (химической, биологической, радиоактивной и другой природы.) путем локализации и дальнейшей нейтрализации вредных соединений, проведения работ по восстановлению (рекультивации) затронутых и загрязненных земель, природоохранного обустройства территорий и т. п.

Кроме того, предложено применение КИММ относительно защиты водных объектов от локальных загрязнителей (рис. 25.16)

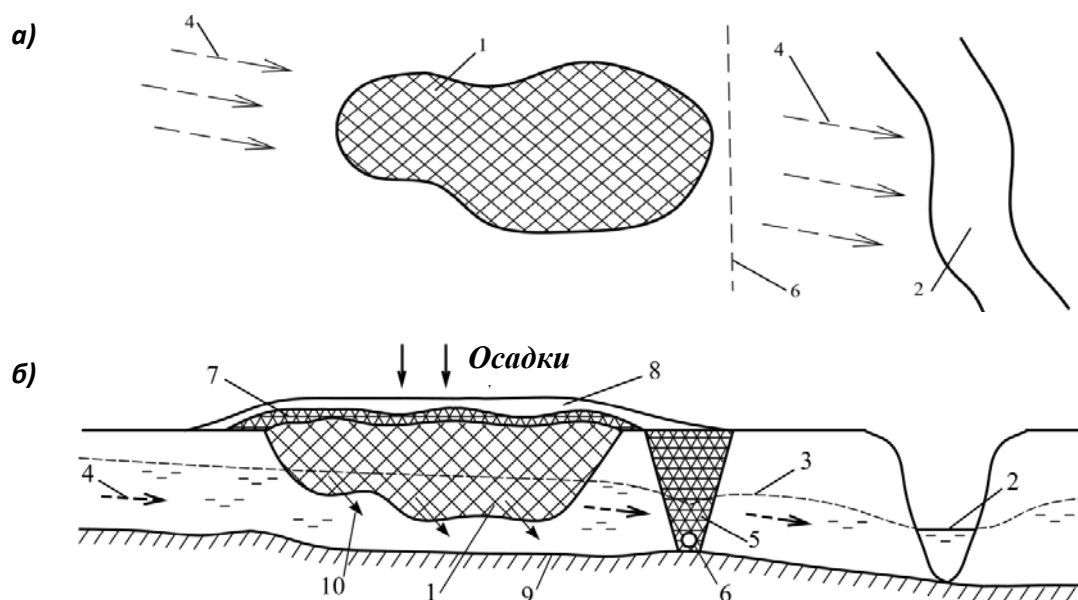


Рис. 25.16. Движение фильтрационного потока через локальный загрязнитель с дальнейшей разгрузкой в водоприемник: а) план-схема; б) перерез относительно применения комплекса инженерно-мелиоративных мер для защиты водных объектов от локальных загрязнителей:

1 – стихийный локальный объект-загрязнитель; 2 – водный объект; 3 – УГВ; 4 – фильтрационный поток; 5 – дренажная траншея-поглотитель; 6 – дренаж; 7 – защитный пласт мелиоранта-сорбента; 8 – плодородный пласт грунта; 9 – водоупорный пласт грунта; 10 – фильтр.

Экономическая, социальная и экологическая эффективность мер защиты территорий и водных объектов от загрязнения определяется следующими показателями:

- внедрение комплекса мер в проект «Реконструкция свалки ТБО – г. Острог Ровенской области» на площади 2,39 га создает экономический эффект 133,7 тыс. грн.;
- обеспечивается снижение уровня загрязнения территорий и водных объектов, атмосферного воздуха в зоне расположения действующих полигонов и свалок ТБО к нормативному уровню, а также уменьшение выбросов биогаза как одного из основных факторов возникновения парникового эффекта на региональном уровне;
- оздоровление территории в зоне расположения действующих полигонов и свалок бытовых отходов на 60...80 %;
- снижение риска заболевания населения в близлежащей зоне расположения действующих полигонов и свалок ТБО на 40...60 %.

Приведенные инженерные решения дают возможность безопасно сохранять ТБО на свалках и полигонах относительно разных уровней принятия решений во времени одновременно с возможностью добычи биогаза, понижения уровня грунтовых вод и рекультивации загрязненной отходами территории.

Литература

1. Батищев В. В., Кияшкин В. И., Довгань С. А. Фильтрационные процессы в районах полигонов ТБО. – М.: Сибико Интернэшнл, 2001. – С. 139–140.
2. Голованов А. И., Пестов Л. Ф., Максимов С. А. Геохимия техноприродных ландшафтов : учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУП, 2006. – 203 с.
3. Громаченко С. Ю., Рокочинский А. Н. Защита почв и водных объектов от техногенных загрязнений на основе комплекса инженерно-мелиоративных мероприятий // Роль мелиорации в обеспечении продовольствен-

- ной и экологической безопасности России : сб. материалов Междунар. научн.-практ. конф. – Ч. 1. – М.: МГУП, 2009. – С. 124–128.
4. Громаченко С. Ю. Утилізація твердих побутових відходів : навч. посібник. / С. Ю. Громаченко, М. О. Клименко, А. М. Рокочинський [та ін.]. – Рівне: 2010. – 307 с.
5. Захист від забруднення ландшафтів побутовими відходами та промисловими відходами на основі використання природних сорбентів : монографія / В. А. Сташук, З. Р. Маланчук, А. М. Рокочинський [та ін.] ; за ред. В. А. Сташука, З. Р. Маланчука и А. М. Рокочинського. – Херсон : Гринь Д. С., 2014. – 420 с.
6. Кияшко И. Ю., Елизарьев А. Н., Кроасногорская Н. Н. Разработка методики комплексной оценки загрязненности фильтрационных стоков захоронений отходов. – Уфа: УГАТУ, 2010. – С. 203–210.
7. Кожушко Л. Ф. Удосконалення дренажних систем / Л. Ф. Кожушко. – Рівне: Видавництво РДТУ. – 2001. – 279 с.
8. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем : посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). / А. М.Рокочинський, Н. А. Фроленкова, В. А. Волошук [та ін.]. – Рівне, 2008. – 64 с.
9. Патент 35803, В 09 В 3/00 Спосіб безпечного збереження побутових відходів на існуючих полігонах / М. О. Клименко, А. М. Рокочинський, П. Д. Колодич, П. І. Копач, С. О. Кушнір, О. М. Клименко, Р. В. Жомирук, С. Ю. Громаченко. – 2008. – Бюл. № 19.
10. Патент 40775, В 09 В 3/00 Спосіб безпечного збереження побутових відходів на існуючих полігонах / А. М. Рокочинський, З. Р. Маланчук, Р. В. Жомирук [та ін.]. – 2009. – Бюл. № 8.
11. Патент 48142 А01В 79/02, В09В 3/00 Спосіб рекультивації забруднених територій / З. Р. Маланчук, А. М. Рокочинський, Р. В. Жомирук, С.Ю. Громаченко. – 2010. – Бюл. № 5.
12. Патент 56269 В09В 3/00 Дренажна траншея-поглинач / А.М. Рокочинський, З.Р. Маланчук, С.Ю. Громаченко [та ін.]. – 2011. – Бюл. № 1.
13. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування: ДБН В.2.4-2-2005. – Київ: Держбуд України, 2005. – 31 с. – (нормативний документ).
14. Реймерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Журнал «Россия молодая», 1994. – 367 с.
15. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. академіка УААН М. І. Ромашенка. – Рівне: НУВГП, 2010 – 351 с.
16. Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2008 // United States Environmental Protection Agency Solid Waste and Emergency Response (5306P) Washington, DC 20460. URL : <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/msw99.htm>.
17. Robertson T. Guidance for evaluating landfill gas emissions from closed or abandoned facilities / T. Robertson, J. Dunbar // U.S. EPA Office of Research and Development Washington, DC 20460//EPA-600/R-05/123a, September 2005.

Глава 26. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ

26.1. Современное состояние проблемы радиоактивного загрязнения торфяных почв Полесья

Современные подходы к природопользованию базируются на системном использовании всех типов сельскохозяйственных земель с целью стабилизации экологической ситуации и решения экономических и социальных задач. С учетом экономики, сельскохозяйственного производства, обеспечения сохранения биоразнообразия, создания рабочих мест, сохранения сельских поселений актуальным является обеспечение научного обоснования использования территорий, подвергшихся различной степени радиационного загрязнения. Так, вследствие аварии на ЧАЭС осушаемые земли, и прежде всего торфяные почвы Полесья Украины, были радиоактивно загрязнены, что значительно снизило площади их использования в сельском хозяйстве. При этом особое значение такие процессы приобрели вследствие большей скорости миграции радионуклидов именно в торфяных почвах.

Эффективное использование таких торфяных почв зоны Полесья Украины возможно только при условии соблюдения современных технологических, экономических и экологических требований к сельскохозяйственному производству. Решение проблемы может быть достигнуто путем сочетания эффективного регулирования водного режима осушаемых торфяных почв на основе традиционных дренажных и дренажно-аккумуляционных систем со снижением их радиоактивного загрязнения до экологически безопасного уровня за счет сорбции радионуклидов. Реализация такого подхода требует разработки и обоснования параметров новой конструкции дренажно-сорбционной системы и экспериментальной проверки эффективности ее функционирования на осушаемых радиационно загрязненных торфяных почвах.

Полесье Украины до 1986 г. отличалось низким уровнем антропогенной нагрузки и считалось одним из наиболее чистых в экологическом отношении регионов. При этом территория Западного Полесья имела наилучшие экологические характеристики. В результате аварии на Чернобыльской АЭС обстоятельства резко изменились. Основное количество радионуклидов выпало на территорию Украинского и Белорусского Полесья. Фактор радиоактивного загрязнения стал определяющим при организации сельскохозяйственного производства.

С целью прогнозирования возможного накопления радионуклидов в сельскохозяйственных культурах необходимо изучать их миграцию в условиях длительного орошения или осушения земель, особенно на торфяных почвах, учесть процессы аккумулятивного накопления радионуклидов в почвенном покрове и поступления их в растения в зависимости от физико-химических свойств оросительных вод и способа полива.

Изучение радиологической ситуации на торфяных почвах обусловлено, прежде всего тем, что они широко распространены в загрязненных районах, где только под пропашными культурами используется 25 тыс. га осушаемых торфяников. В некоторых хозяйствах такие почвы составляют большую часть сельскохозяйственных угодий. Условия их использования имеют целый ряд особенностей, которые определяются необходимостью выполнения (дополнительно к обязательным) агрохимических, агротехнических и комплекса специальных мероприятий. Для определения объемов дополнительных расходов на их осуществление на торфяных почвах проводят оценку мелиоративного состояния на основании данных эколого-мелиоративного мониторинга, включающего систематическое отслеживание большинства факторов, в том числе тех, от которых будет зависеть в значительной степени миграционная способность радионуклидов и коэффициент поступления их в растения. Последние зависят от типа почв, его физико-химических и механических свойств, характеристик влажности, уровня почвенных вод (УПВ) и других показателей.

Установлено, что при существовании промывного режима на загрязненных мелиорируемых почвах миграция ^{137}Cs в 20 раз выше, чем ^{90}Sr [1]. Такое перераспределение элементов происходит в результате микротектоники частиц, механического разрушения во время их перемещения, радиационного разрушения, распада органики, с которой были связаны радионуклиды в первые годы после аварии. Особую роль здесь играет увлажнение территории. С повышением влажности почвы от 60 % полной влагоемкости до полного насыщения при затоплении вынос ^{90}Sr из зоны первичного накопления в торфе растет с 9 до 37 %, а в песчаных подзолистых почвах не превышает 6 % в год [2, 3, 4, 5].

Торфяные почвы требуют специфического подхода и выделения их в особую группу риска. Коренное улучшение осушаемых лугов на торфяных почвах с проведением агротехнических и агрохимических мероприятий позволяет снизить коэффициент накопления в среднем в 2–4 раза, а иногда – в 16 раз [4, 5].

Перед принятием окончательного решения об использовании или изъятии осушаемых площадей должны быть учтены все природные, антропогенные и социально-экономические факторы, которые определяют необходимость получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции даже на землях с низкими значениями радиоактивного загрязнения, с обязательным отдельным расчетом для минеральных и торфяных почв [6, 7].

Радиологическая опасность радионуклидов оценивается с учетом их миграционных свойств: вторичный ветровой перенос, растворимость и мобильность в природных водах, миграция в почвах и на их поверхности, а также поступление в растения и переход по цепям питания, радиоактивного распада, радиационных характеристик [8, 9, 10, 11, 13, 14, 15].

Большое влияние на изменение радиационного состояния имеет вертикальная миграция радионуклидов по почвенному профилю. Вертикальная миграция радионуклидов определяется динамикой их взаимодействия с объектами окружающей среды и зависит как от природы и свойств радионуклидов, так и от среды, в которой происходит миграция.

Основными параметрами среды, влияющими на миграционную подвижность радионуклидов, являются: положение в ландшафтном комплексе, тип поверхности, температурный, водный и воздушный режим почв, а также почвенного поглощающего комплекса. Также нужно учитывать: наличие гумуса, минералогический состав, количество и спектр микроэлементов, агрохимические характеристики почвенных горизонтов [16, 17, 18, 19, 20, 21].

Непосредственно в почве мобильность радионуклидов определяется скоростью и прочностью сорбции выщелоченных радионуклидов твердой фазы почвы. Радионуклиды попадают из атмосферы на сформированный почвенный покров, а их стабильные аналоги распределяются согласно геохимическим процессам литогенеза и почвообразования [22, 23].

Механизм миграции радионуклидов представляет собой процесс диффузии, что сопровождается явлениями сорбции-десорбции, конвективного переноса с капиллярным током пленочной влаги, переносом с гравитационным током свободной влаги по типу механического переноса. Учеными также отмечается вклад в миграцию корневой системы растительности. Вклад этих процессов различен для разных химических элементов и почвенных условий [19, 21].

Полесье Украины характеризуется значительными площадями торфяных почв, занимающих 980 тыс. га, из них около 600 тыс. га осушены. Радиологическое загрязнение особенно негативно ощущается на торфяных почвах, поскольку способствует значительному переходу радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию. В целом 46,4 % таких почв характеризуется высокой миграционной способностью в отношении радионуклидов, из которых 38,3 % – торфоболотные. Содержание радиоактивного цезия в растениях при выращивании на таких землях в 10–30 раз больше по сравнению с другими зонами при одинаковой плотности радиоактивного загрязнения, что значительно превышает допустимые нормативы.

Чернобыльская катастрофа привела к загрязнению огромных территорий: только в Украине, как утверждает С. И. Веремеенко, выявлено около 1,24 млн га сельскохозяйственных угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs (1–15) Ки/км² [6]. Радиологический эффект радиоактивных выпадений существенно модифицирован экологическими особенностями территории Полесья, которая представлена лесными и луговыми, часто заболоченными ландшафтами, сформированными на лугово-болотных, торфяно-болотных почвах, то есть преимущественно на гидроморфных органогенных почвах с низкой способностью связывать радионуклиды. Такие почвы характеризуются высоким содержанием органического вещества (20–60 %) и низким содержанием глинистых минералов, иловой фракции и микроэлементов, кислой реакцией почвенного раствора и высокой влажностью.

Радиоэкологическая ситуация Полесья сформирована в результате динамического взаимодействия метеорологических, физических, химических и биологических процессов поведения радионуклидов в окружающей среде, изменяющихся во времени и пространстве. В связи с этим необходимо проводить аналитические исследования результатов перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, что позволяет дать оценку возможных ситуаций и роли факторов, определяющих их последствия.

Выпадение радионуклидов на почву происходило как за счет медленного диффузионного сухого осадка, так и конвективного влажного выпадения атмосферных осадков в сочетании с геоморфологическими факторами и ландшафтными характеристиками местности, что определило ясно выраженную пятнистую структуру радиоактивного загрязнения [24, 6, 15].

Общая масса радионуклидов, выпавших на территории Украины вследствие аварии на ЧАЭС, составляет от 280 до 300 тыс. Ки. В результате общая площадь загрязненных торфяных почв составляет 4600 тыс. га, из них 3100 тыс. га пахотных земель. В Ровенской области площадь сельскохозяй-

ственных угодий, загрязненных ^{137}Cs , составляет 329,3 тыс. га, а именно: 172,1 тыс. га имеют плотность загрязнения 0,1–1,0 Ки/км²; 145,7 тыс. га – 1,0–5,0 Ки/км²; 11,5 тыс. га имеют плотность загрязнения 5,0–15,0 Ки/км² [4, 7, 11]. Радионуклиды, попадающие в окружающую среду, включаются в биохимические циклы миграции. Скорость и особенности миграции радионуклидов определяются как их свойствами, так и влиянием факторов деятельности человека на окружающую среду.

В настоящее время особенно остро стоит проблема предупреждения и уменьшения негативного влияния радионуклидов на сельскохозяйственную продукцию как в богарных условиях, так и в условиях осушения, а также поступления их через дренаж в водные объекты и загрязнения грунтовых вод.

Сельскохозяйственная продукция, в которой содержатся радионуклиды, формирует дозу дополнительного облучения человека, что обусловило начало исследований в области радиоэкологии аграрного производства. Научное признание получили работы радиоэкологической школы академика В. М. Ключковского. Значительный вклад в исследование закономерностей миграции радионуклидов в системе «почва – сельскохозяйственные растения и животные» внесли российские ученые Д. А. Алиев, Н. П. Архипов, И. В. Гулякина, Б. Н. Аненков, М. И. Буров, Ю. А. Поляков, Г. Н. Романов, Ф. А. Тихомиров, М. А. Корнев, Е. А. Федоров, Е. В. Юдинцева [9, 10, 16, 20, 25, 29]. Из трудов ученых Западной Европы и Америки следует отметить работы в области сельскохозяйственной радиоэкологии В. S. Pussell, Л. Фредрикссон (L. Fredriksson), С. Л. Комар (С. L. Comar), Х. Нишита (H. Nishita), Е. М. Ромны (E. M. Romney) и др. [17–19].

Прикладные вопросы использования сорбентов для защиты водных объектов, экологических систем разработаны в трудах А. И. Голованова, А. В. Яцика, В. А. Сташука, Н. А. Клименко, М. М. Хлапука, А. Н. Рокочинского, С. Ю. Громаченко. В частности, такими учеными разработаны устройства для перехвата грунтовых вод с загрязняющими веществами [4, 7, 20, 29, 30, 31].

Различными аспектами осушительных сельскохозяйственных мелиораций, в том числе при осушении торфяных почв, занимались многие отечественные и зарубежные ученые А. И. Голованов, П. И. Закржевская, Н. А. Клименко, П. И. Коваленко, Л. Ф. Кожушко, Н. А. Лазарчук, А. М. Мурашко, В. Л. Поляков, Г. С. Потоцкий, А. Н. Рокочинский, А. В. Скрипник, М. В. Яцык, Н. Н. Ткачук, М. М. Хлапук.

Изучением вопроса использования мелиорантов и сорбентов для обустройства комбинированных дренажных систем и аккумулирующих элементов занимались Л. Ф. Кожушко, М. М. Ткачук, С. В. Портной. Эти ученые предложили конструкцию дренажно-аккумулирующей системы [30].

Значительный вклад в радиоэкологическую науку внесли ряд ученых Украины: С. С. Абалин, С. Быстрицкий, В. Г. Барьяхтар, А. А. Боровой, С. И. Веремеенко, О. А. Геращенко, Е. Г. Денисенко, Б. С. Пристер, М. О. Лошилов, А. Н. Клименко [15, 19, 27, 33], которые исследовали особенности загрязнения сельскохозяйственных угодий радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС для специфических условий и производственных задач (степень загрязнения) почв и продукции растениеводства, способы уменьшения перехода радионуклидов в продукцию, процессы миграции радионуклидов на минеральных и торфяных почвах, способы внесения минеральных и органических удобрений для уменьшения коэффициентов перехода радионуклидов в растения и т. п.

26.2. Обоснование конструкции и принципа действия дренажно-сорбционной системы

При реконструкции дренажа одним из важных этапов является выбор дренажных фильтров и фильтрующе-сорбционных элементов по данным их физико-химических свойств: коэффициент фильтрации, химическая стойкость в грунтовых водах, срок использования, деформации под нагрузкой почвы и сельскохозяйственной техники, возможность улавливать химические вещества и радионуклиды.

С учетом ДБН 2.4.1.99 «Мелиоративные системы и сооружения» к дренажным фильтрам должны дополнительно относиться следующие требования: экологическая безопасность; гидрологическая эффективность; наличие их в зонах реконструкции или строительства дренажа; наличие промышленных производств для изготовления готовых конструкций с объемными фильтрами дрен и фильтрующе-сорбционных элементов.

Итак, широкий спектр использования минеральных и органических фильтров (для разных типов почв) является научно обоснованным с экологической и экономической точки зрения [9]. Им могут быть материалы природного происхождения максимально адаптированы к природной среде: мох, торф, кокосовое волокно, солома, сено болотных трав, льнотреста, опилки и другие материалы растительного происхождения, а также искусственные материалы на основе природного сырья – волокнистые полотна, ваты и ткани, изготовленные из волокон базальта, стекла и другие. В качестве фильтрующих материалов также используются синтетические материалы – сыпучие гранулирован-

ные, пористые, волокнистые нетканые полотна на основе полимерных вяжущих, полипропиленовые волокна, смеси органических, искусственных и синтетических материалов (кокосовые волокна + полипропиленовые волокна, солома + полипропиленовые волокна и т. д.). Такое значительное количество защитных фильтрующих материалов может быть использовано для дренажа с учетом их стоимости [8, 31, 32].

Таким образом, исходя из необходимости сочетания функций фильтрации и сорбции для снижения уровня радиационного загрязнения осушаемых торфяных почв целесообразно использовать научно-технические разработки Л. Ф. Кожушко, П. М. Скрипчука [8, 32].

В отличие от предложенной Л. Ф. Кожушко, конструкция дренажно-аккумулирующей системы (ДАС), дренажно-сорбционная система (ДСС) (рис. 26.1) представляет собой сочетание традиционного закрытого дренажа (гончарный, пластмассовый) с объемными органическими фильтрами (1) с расположенными поперек ему в подпахотном слое почвы на глубине 0,4...0,5 м бесполостными дренажными устройствами в виде фильтрующих сорбционных элементов (ФСЕ) (2) диаметром 8...12 мм. ФСЕ – это чулок с сетчатой оболочкой, заполненный фильтрующе-сорбционным материалом (ФСМ).

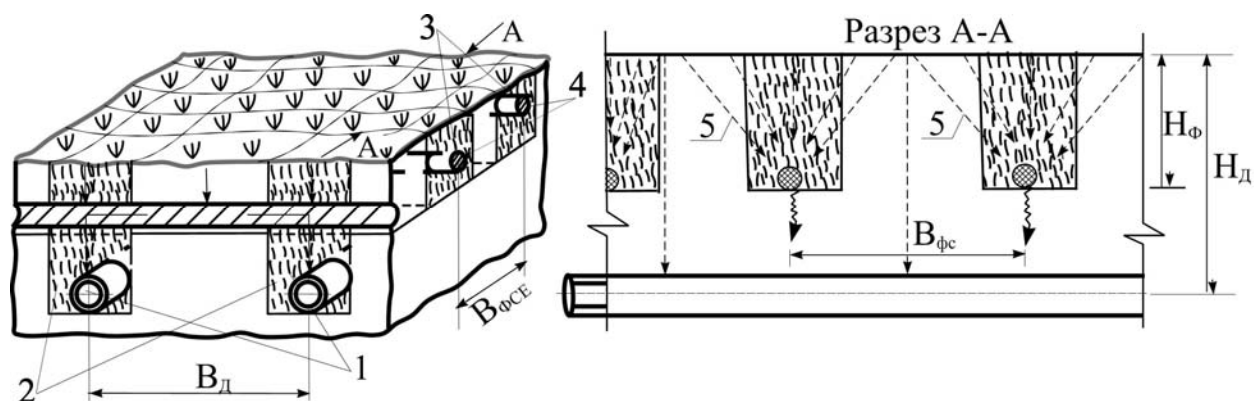


Рис. 26.1. Схема ДСС и миграции почвенной влаги и радионуклидов при ее работе:

1 – традиционно заложенный дренаж с объемным органическим фильтром; 2 – дренажная траншея для дрены нижнего яруса; 3 – ФСЕ верхнего яруса; 4 – дренажная траншея ФСЕ; 5 – направление миграции почвенной влаги и радионуклидов в ФСЕ

На дно разрыхленной полосы через определенное расстояние одновременно ложится длинномерный элемент круглой формы диаметром (80–150) мм из сетчатой оболочки, наполненной до определенной плотности фильтрующе-сорбционным материалом (рис. 26.2) [32].

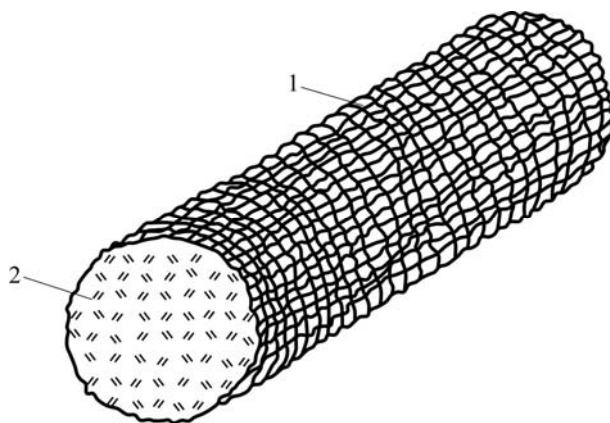


Рис. 26.2. Фильтрующе-сорбционный элемент:

1 – сетчатый чулок; 2 – фильтрующе-сорбционный материал

ФСЕ не имеет выхода в коллектор, а копирует поверхность земли и гидравлически соединен с трубчатой дреной через разрыхленную траншейную засыпку. В качестве наполнителя длинномерного элемента могут быть использованы солома зерновых культур, льнотреста, древесные опилки и стружка, волокнистый торф, синтетические отходы текстильного производства или смесь этих материалов.

Принципы работы ДСС заключаются в следующем. В весенний период, когда уровень почвенных вод (УПВ) находится выше ФСЕ, вода интенсивно поступает в дренажные устройства верхнего

яруса ДСС. При этом происходит поглощение радионуклидов сорбентом, который входит в состав ФСЕ. Такие процессы предотвращают дальнейшую миграцию радионуклидов в нижние горизонты почвы и водоприемники, улучшают радиационную ситуацию на территории.

Таким образом, предложенная конструкция ФСЕ способствует уменьшению содержания радионуклидов в пахотном слое почвы, где размещена основная масса корневой системы растений.

26.3. Обоснование конструкции и параметров фильтрующе-сорбционных элементов

Обоснование параметров ФСЕ в составе ДСС осуществлялось путем подбора их вида и состава с учетом их фильтрационных, сорбционных и деформационных свойств. На основании анализа опыта отечественных и зарубежных ученых, научных исследований, наличия фильтрующих материалов в зонах мелиорации, стоимости составляющих элементов, технических возможностей (конструкции мелиоративных систем) устройства для изготовления ФСЕ подобраны следующие виды фильтров: солома 50 % + глина 25 % + торф 25 % – коэффициент фильтрации 43 м/сутки; опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 % – коэффициент фильтрации 14 м/сутки; глина 50 % + торф 20 % + солома 30 % – коэффициент фильтрации 43 м/сутки; солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 % – коэффициент фильтрации 63 м/сут.

Лабораторные исследования по изучению коэффициентов фильтрации предложенных видов фильтров проводились в торфяных почвах (с учетом степени разложения их и вида), а также в минеральных почвах (песок мелкодисперсный).

Плотность фильтров имела начальное значение около $0,15 \text{ г/см}^3$ исходя из насыщенной плотности смеси фильтров и с учетом исследований [8, 32]. Исследование показывает постепенное снижение коэффициента фильтрации в зависимости от увеличения плотности фильтров и представлено на рисунке 26.3. Аналогичные тенденции наблюдались при изучении коэффициентов фильтрации и на минеральных почвах (рис. 26.4). Так, для фильтра солома 50 % + глина 25 % + торф 25 % при плотности $0,17 \text{ т/м}^3$ значение коэффициента фильтрации составляет 100 м/сутки. Несколько ниже значение коэффициента фильтрации для смеси опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 % – при плотности $0,17 \text{ т/м}^3$ он составляет 33 м/сутки. При оптимальных плотностях ($0,18\text{--}0,24$) т/м^3 среднее значение коэффициента фильтрации ФАМ дрен составили соответственно: солома 50 % + глина 25 % + торф 25 % – 43 м/сутки; опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 % – 14 м/сутки; глина 50 % + торф 20 % + солома 30 % – 43 м/сутки; солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 % – 63 м/сутки.

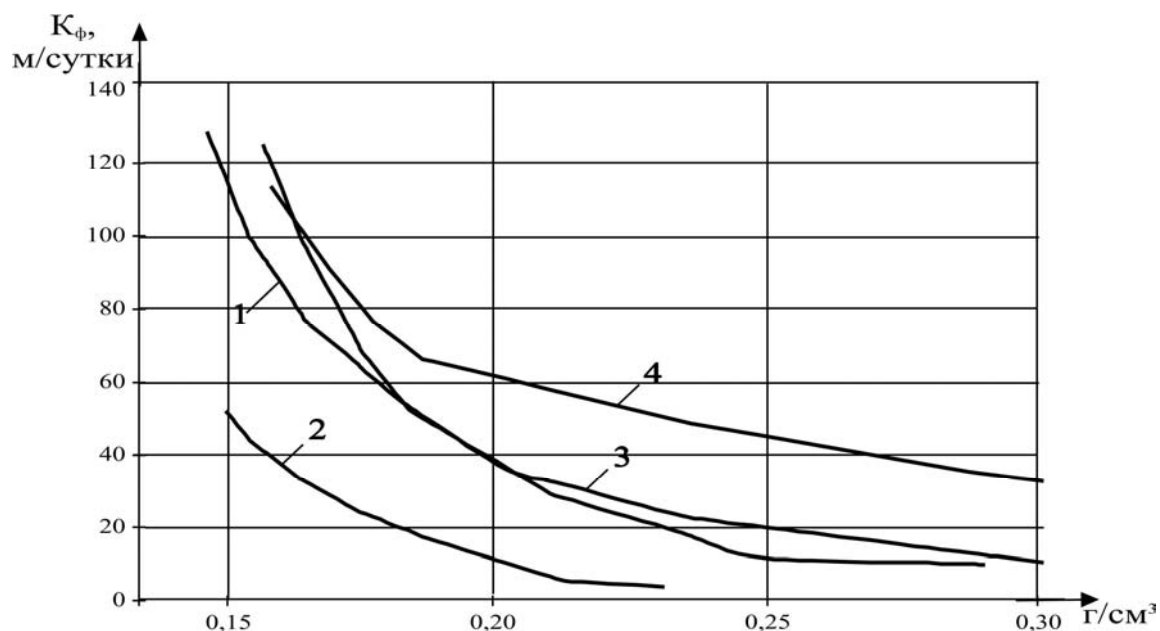


Рис. 26.3. Коэффициент фильтрации фильтров в торфяных почвах:

1 – солома 50 % + глина 25 % + торф 25 %; 2 – опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %; 3 – глина 50 % + торф 20 % + солома 30 %; 4 – солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %

При постепенном увеличении плотности до $0,24\text{--}0,30 \text{ т/м}^3$ среднее значение коэффициента фильтрации фильтров составило: солома 50 % + глина 25 % + торф 25 % – 13 м/сут.; опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 % – 4 м/сутки; глина 50 % + торф 20 % + солома 30 % – 15 м/сутки; солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 % – 38 м/сутки.

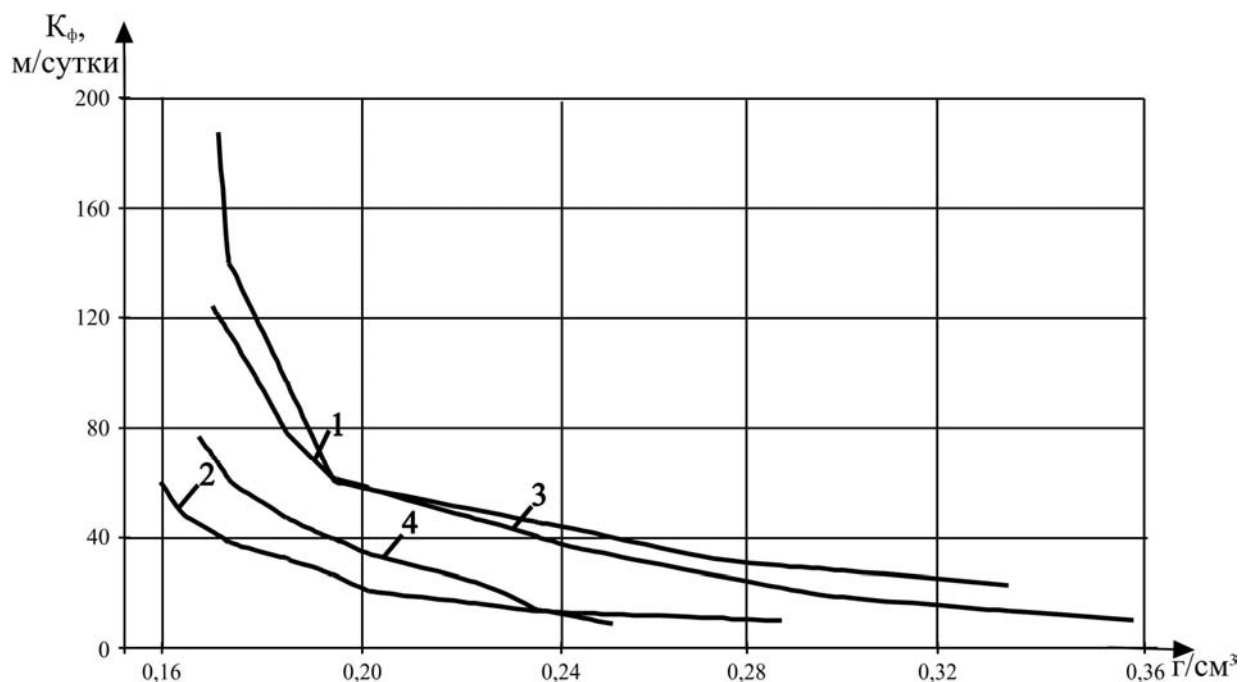


Рис. 26.4. Коэффициент фильтрации фильтров в минеральных почвах:

1 – солома 50 % + глина 50 %; 2 – солома 50 % + глина 30 % + вермикулит 20 %; 3 – солома 25 % + глина 50 % + вермикулит 25 %; 4 – глина 50 % + торф 50 %

Как видно из проведенных нами исследований, значения коэффициента фильтрации всех видов смесей соответствуют требованиям ДБН 2.4.1.99 «Мелиоративные системы и сооружения» для дренажных фильтров. В полевых условиях в ФСЕ и фильтрах дрен образуется максимальная плотность до $0,26 \text{ г/см}^3$, а максимально возможная – до $0,3 \text{ кг/см}^3$. Лабораторные исследования проводились на приборе Дарси, результаты которых показывают, что и при таких условиях коэффициент фильтрации исследуемых фильтров удовлетворяет оптимальным и экстремальным значениям плотности. Эксперименты проводили с четырьмя видами фильтров: солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %; опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %; глина 50 % + торф 20 % + солома 30 %; солома 50 % + глина 25 % + торф 25 %. Опыты выполняли в трехкратной повторности. Нагрузка в опытах увеличивалась от $0,02$ до $1,5 \text{ кг/см}^2$.

Дисперсионный анализ результатов этого эксперимента для каждого варианта на 5%-ном уровне значимости показал, что отклонения значений деформации фильтров при повторениях не превышали наименьшее существенную разницу. Это свидетельствует об однородности изготовленных фильтров и дает возможность использовать средние значения относительной деформации как результаты исследований. Результаты эксперимента показали: фильтры из соломы при нагрузке до $0,5 \text{ кг/см}^2$ деформируются незначительно. Поэтому при увеличении нагрузки на фильтры водопроницаемость их существенно уменьшалась за счет увеличения плотности по отношению к исходной. Но даже при нагрузке $1,5 \text{ кг/см}^2$ коэффициент фильтрации всех фильтров не опускается ниже 4 м/сут. , что значительно превышает водопроницаемость подавляющего большинства переувлажненных почв. Относительная деформация фильтров при различной нагрузке приведена на рисунке 26.5.

Значения получены для исходной плотности от $0,18$ до $0,20 \text{ т/м}^3$ как оптимальной для большинства фильтров [31]. Коэффициент корреляции составляет от $0,8$ до $0,95$.

Для статистической обработки получены уравнения, описывающие зависимость относительных деформаций от начальной плотности фильтра и действующей нагрузки.

$$\frac{t_f}{t_0} = 1 - a \frac{P^m}{\rho_0^n}, \quad (26.1)$$

где t_f – толщина фильтра после действия нагрузки, см;

P – нагрузка, кг/см^2 ;

t_0 – начальная толщина фильтра, см;

ρ_0 – начальная плотность фильтра, т/см^3 ;

a, m, n – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида фильтрующего материала (табл. 26.1).

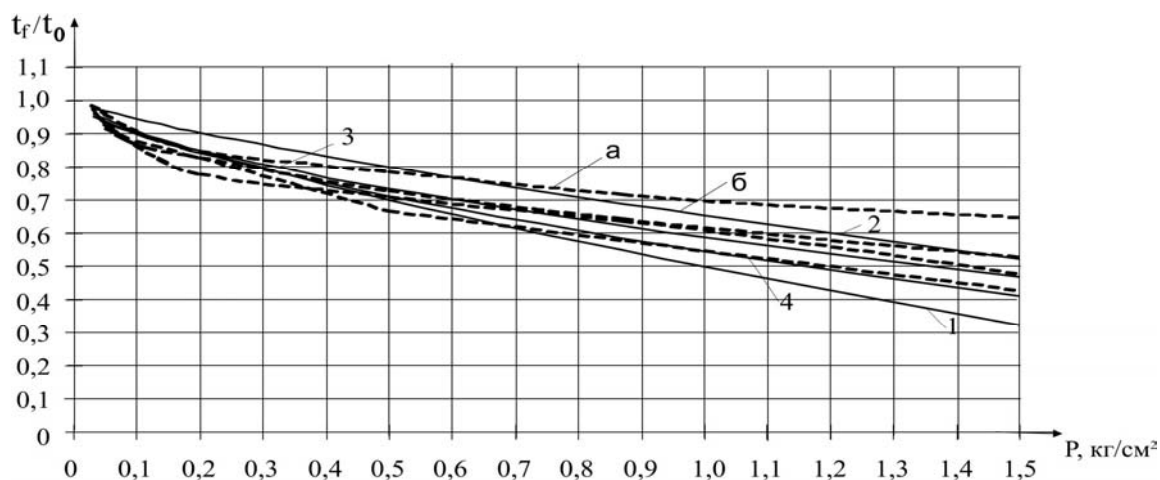


Рис. 26.5. Зависимость относительных деформаций фильтров от нагрузки:
 1 – солома 50 % + глина 25 % + торф 25 %; 2 – опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %;
 3 – глина 50 % + торф 20 % + солома 30 %; 4 – солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %.
 а – по данным эксперимента; б – расчетная кривая

Таблица 26.1

Значение эмпирических параметров а, m, n в уравнении 26.1

Фильтрующий материал	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %	0,452	0,654	5,56
опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %	0,345	0,794	2,13
глина 50 % + торф 20 % + солома 30 %	0,411	0,634	2,77
солома 50 % + глина 25 % + торф 25 %	0,500	0,743	1,52

По результатам лабораторных и полевых исследований были изучены плотность, водопроницаемость, относительная деформация и сорбционная способность ФСМ (табл. 26.2).

Таблица 26.2

Обоснование рационального состава фильтрующе-сорбционного материала ФСЕ дренажно-сорбционной системы

№ вариантов	Параметры	ρ_{ϕ} , т/м ³	θ_{ϕ} , м/сутки	f_f / f_0	$S_{z_{\phi}}$, %
1	Солома 50 % + глина 25 % + торф 25 %	0,78	43,0	0,58	53,01
2	Опилки 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %	0,62	14,0	0,65	27,3
3	Глина 50 % + торф 20 % + солома 30 %	1,16	43,0	0,56	33,04
4	Солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %	0,71	63,0	0,62	78,3

Примечание: Используются обозначения: ρ_{ϕ} – плотность фильтра, т/м³; θ_{ϕ} – коэффициент фильтрации фильтра, м/сут; f_f / f_0 – показатель относительной деформации фильтра; $S_{z_{\phi}}$ – сорбционная способность фильтра по уменьшению радиационного загрязнения, %.

По результатам анализа фильтрационных и сорбционных свойств смеси ФСМ для устройства ФСЕ лучшим вариантом является смесь: солома 25 % + торф 50 % + вермикулит 25 %.

Таким образом, для обоснованной конструкции и параметров фильтрующе-сорбционных элементов необходимо установить рациональные расстояния между ФСЕ за фильтрационными и сорбционными их условиями работы.

26.4. Установление рациональных расстояний между фильтрующе-сорбционными элементами в условиях их работы

Эффективность водорегулирования осушаемых торфяных почв при различных расстояниях между ФСЕ в составе ДСС требует проведения исследований. Рациональные расстояния между ФСЕ верхнего яруса ДСС в разные по условиям влагообеспеченности годы и аккумуляции радионуклидов определялись экспериментально и полевым опытом. На экспериментальном участке были проведены

исследования общепринятыми методами по изучению эффективности водорегулирования осушаемых торфяных почв с различными вариантами (от 2 до 10 м) расстояний между ФСЕ верхнего яруса ДСС по изменению аккумуляционной способности почвы, формированию дренажного стока, влагообеспеченности почвы и урожайности возделываемых культур. Обобщенные результаты таких исследований приведены в таблице 26.3.

Таблица 26.3

Проектные параметры эффективности водорегулирования осушаемых торфяных почв при различных вариантах расстояния между ФСЕ в составе ДСС

№ варианта	B_{ϕ} , м	$Wh_{0,5}^0$, м ³ / га	q , л/с · га	$Wh_{0,5}^{75\%}$, м ³ / га	Y , ц/га
1	2	707	0,54	444	26,5
2	4	658	0,59	427	26,8
3	6	640	0,61	396	23,4
4	8	424	0,63	378	22,6
5	10	615	0,64	374	21,8
6	Контроль	612	0,65	370,0	21,1

Примечание: Используются обозначения: R_{ϕ} – варианты расстояний между ФСЕ, м; $Wh_{0,5}^0$ – максимальный запас производительности влаги активного корнеобитаемого слоя почвы 0,5 м, м³/га; q – модуль дренажного стока, л/с га; $Wh_{0,5}^{75\%}$ – средний запас продуктивной влаги 0,5 м слоя почвы в засушливый период, м³/га; Y – урожайность сена трав, ц/га.

Результаты исследований показали, что укладка ФСЕ в активном корнеобитаемом слое почвы приводит к увеличению его аккумуляционной способности (на 2...5 % при $R_{\phi} = 10$ м и 12...15 % при $R_{\phi} = 2$ м), уменьшению за счет этого объема сброса инфильтрационной влаги и модуля дренажного стока (соответственно на 1...3 % и 12...15 %), а также увеличение влагообеспеченности почвы в засушливые периоды (соответственно на 1...3 % и 20...25 %) и урожая многолетних трав на сено (соответственно на 1...3 % и 18...23 %). При этом лучшие результаты по водорегулированию получены для расстояний между ФСЕ 2...4 м.

Полевые исследования миграции ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs по вертикальному профилю торфяного грунта проводили в условиях Житомирской области на опытном поле Института сельского хозяйства Полесья (с. Грозино Коростенского района). Для этого заложен полевой опыт с 2002 по 2007 год.

На трех лизиметрах были заложены торфяные почвы по следующей схеме:

- ✓ три лизиметра с органогенной почвой были контрольными с ФСЕ без сорбента (вермикулит);
- ✓ другие три лизиметра с органогенной почвой были заложены с ФСЕ и сорбентом (вермикулит).

На лизиметрах с минеральным грунтом исследования проводились по следующей схеме:

- ✓ первые три лизиметра заложены с почвой с ФСЕ без сорбента (вермикулит);
- ✓ другие три лизиметра заложены с ФСЕ и сорбентом (вермикулит).

При исследованиях установлено, что при искусственном внесении радионуклидов в слой нарушенного торфяника отмечена высокая интенсивность вертикальной миграции ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Так, на осень 2004 г. количество ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr составило 69,7 % от общего его количества (рис. 26.6). Подвижность радионуклидов и вертикальная миграция их объясняется высокой пористостью нарушенного грунта, вследствие чего идет активное вымывание илстой фракции из поверхностного слоя, где находится основная часть радионуклидов. Динамика вертикальной миграции ¹³⁷Cs на торфяных почвах приведена на рисунке 26.6. Такая ситуация возможна в производственных условиях. Если торфяной грунт на время выпадения радионуклидов находился в естественном состоянии (под перелогами) [21, 25], то процессы вертикальной миграции проходят значительно медленнее, но закономерности перераспределения радионуклидов аналогичны лизиметричным.

Существенную роль в приостановлении активной миграции ¹³⁷Cs в нижние горизонты почвы играет ФСЕ, заложенный на глубине 40 см. Например, если количество ¹³⁷Cs на ФСЕ при отборе образцов 26.04.2004 составило 19 %, то при повторном отборе 26.10.2004 она возросла до 25,2 %. Согласно этому уменьшалось количество ¹³⁷Cs в слое 40–60 см до 4,8 % по отношению к 16,9 % в контрольном варианте, где сорбент не применялся. Динамика вертикальной миграции ¹³⁷Cs на торфяных почвах приведена на рисунке 26.7. Так, концентрация ¹³⁷Cs в верхнем слое (0–10) см составила 1378 Бк/кг, что составляет около 40 % от начальной концентрации [32].

Тенденция роста концентрации ¹³⁷Cs наблюдается в слое от 0 до 40 см. В слое (30–40) см такая концентрация составляет 2119 Бк/кг, что свидетельствует об активной миграции ¹³⁷Cs в течение 4 лет

полевых исследований. На глубине 40–50 и 50–60 см на всех вариантах наблюдается значительное (от 4 до 17 раз) уменьшение концентрации ^{137}Cs .

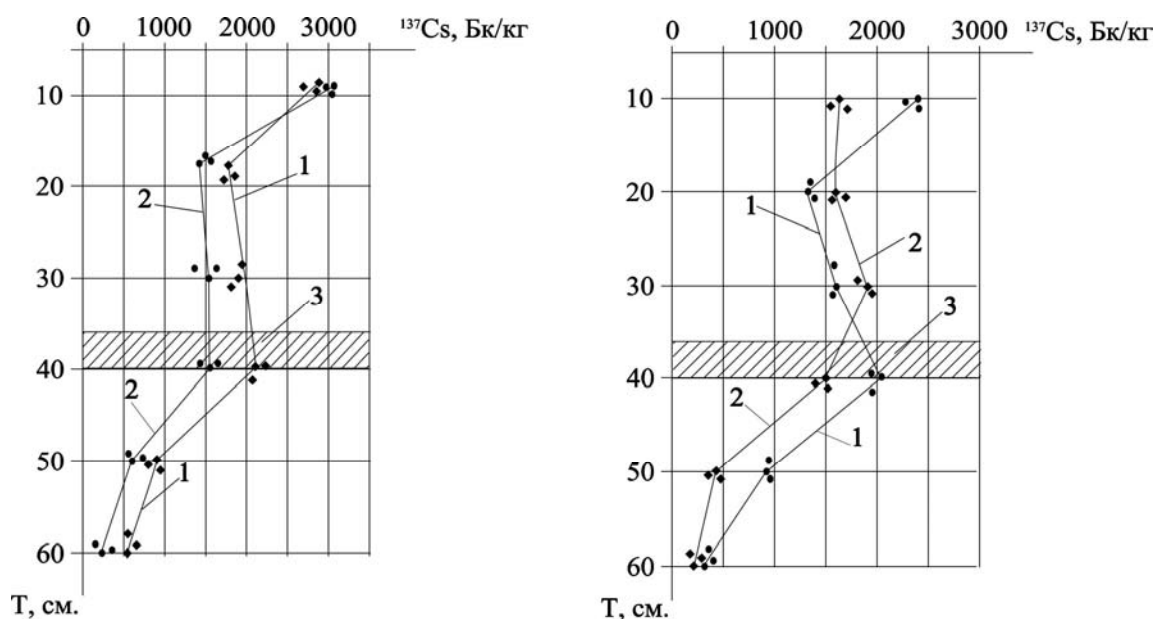


Рис. 26.6. Динамика вертикальной миграции ^{137}Cs на торфяных почвах Бк / кг (исследование на лизиметрах)

1 – без вермикулита; 2 – с вермикулитом; 3 – прослойка из ФСЕ

Следует отметить, что ФСЕ работают достаточно эффективно. Например, концентрация ^{137}Cs в слое 40–50 см составляет 33 Бк/кг, что в 64 раза меньше, чем в верхних слоях почвы. Такая тенденция наблюдается и на других вариантах – концентрация ^{137}Cs на глубине 40–60 см в 23–60 раз меньше, чем на глубине 0–30 см. Концентрация ^{137}Cs в слое 0–10 см через 4 года на всех вариантах уменьшилась на 40–60 %, поскольку полевые условия и почва были идентичны.

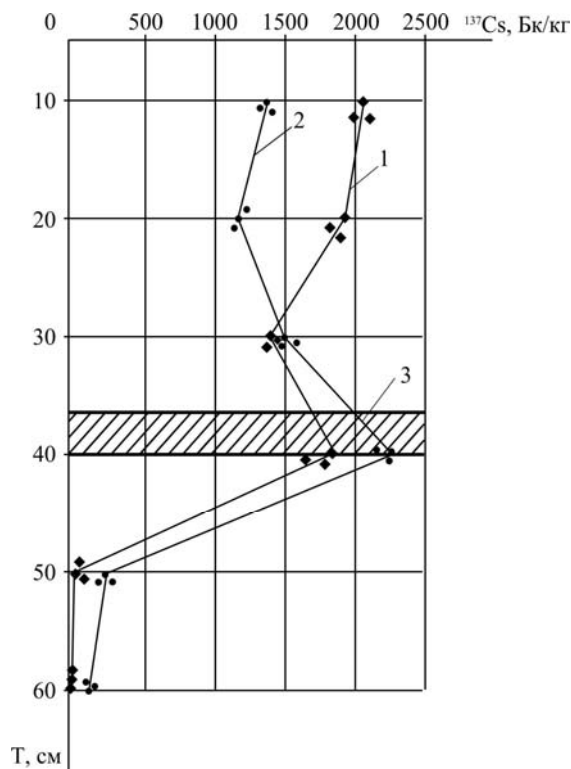


Рис. 26.7. Динамика вертикальной миграции ^{137}Cs на торфяных почвах Бк/кг (исследования на лизиметрах):

1 – без вермикулита; 2 – с вермикулитом; 3 – прослойка из ФСЕ

Исходя из изложенного следует считать, что ФСЕ с вермикулитом является хорошим искусственным барьером, который сорбирует радионуклиды и значительно замедляет процессы вымывания радионуклидов в грунтовые воды, селективно фиксирует его в неподвижных формах, что приводит к снижению накопления ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции и грунтовых водах.

На минеральных дерново-подзолистых почвах вертикальная миграция ^{137}Cs изучалась в лизиметричных установках с ненарушенной структурой почвенного профиля и с нарушенной структурой (набивной тип лизиметричной установки) [21]. Как свидетельствуют данные, полученные в лизиметрах с незыблемой структурой почвенного профиля (рис. 26.8), в среднем за 10 лет (1988–1998), по данным Института сельского хозяйства Полесья НААН, на дерново-подзолистой почве ^{137}Cs активно связывается с почвой и 96,8–98,5% его находится в пахотном слое почвы.

Аналогичная тенденция наблюдалась, по данным автора, и в 2002–2004 гг. (рис. 26.9). На минеральных глубоко нарушенных дерново-подзолистых почвах на время закладки опыта (апрель, 2003) ^{137}Cs был сосредоточен в 0–20 см слое почвы. В апреле 2004 г. более 50 % ^{137}Cs переместились в более глубокие слои почвы на глубину 20–60 см.

Такие ситуации в производственных условиях на минеральных почвах могут создаваться, например, при проведении глубокого мелиоративного рыхления осушенных гончарным дренажем земель. Как и на торфяных почвах, хорошим барьером при переносе ^{137}Cs и ^{90}Sr в этом случае является ФСЕ из соломы и вермикулита, на глубине 30–40 см.

Так, осенью 2004 г. в слое 40–60 см при наличии ФСЕ из соломы и вермикулита было обнаружено 2,5 % ^{137}Cs от имеющегося в 60 см слое, тогда как без прослойки – 12,4 %.

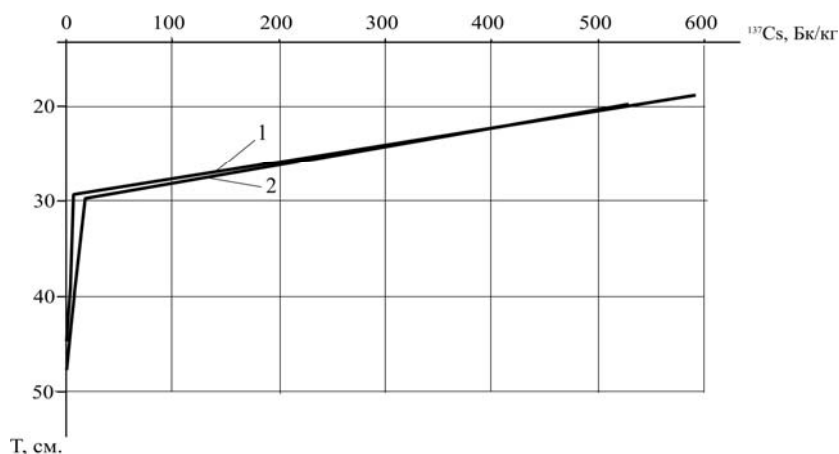


Рис. 26.8. Миграция ^{137}Cs по профилю почвы в лизиметрах с перемешиванием пахотного слоя 0–20 см дерново-подзолистой почвы за 1988–1998 (по данным Института сельского хозяйства Полесья НААН):

- 1 – лизиметр с незыблемой структурой почвенного покрова;
- 2 – лизиметр с нарушенной структурой почвенного покрова

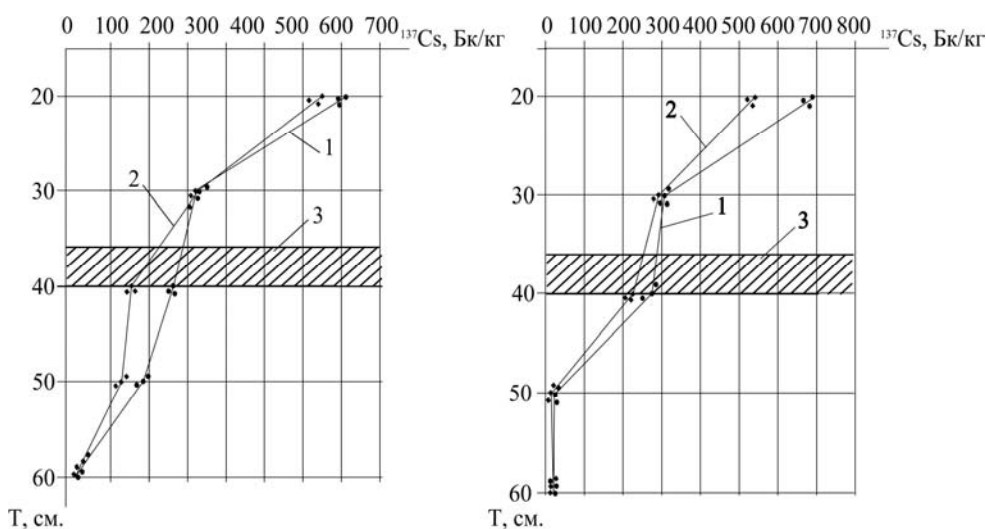


Рис. 26.9. Вертикальная миграция ^{137}Cs в набивных лизиметрах с нарушенной структурой почвенного профиля дерново-подзолистой почвы:

- 1 – без вермикулита; 2 – с вермикулитом; 3 – прослойка с фильтрующе-сорбционным элементом

Исследованиями миграции ^{90}Sr на торфяных и минеральных почвах установлено, что ФСЕ из соломы и вермикулита эффективно сорбирует ^{90}Sr . Концентрация ^{90}Sr благодаря ФСЕ на торфяных грантах уменьшилась в среднем от 3 до 6 раз (рис. 26.10, 26.11), на контроле – до 8 раз, на минеральных почвах – в 15 раз.

Итак, в целом, как на торфяных, так и на дерново-подзолистых почвах ФСЕ из соломы и вермикулита является хорошим селективным сорбентом ^{137}Cs и ^{90}Sr , что значительно снижает их подвижность и переход в сельскохозяйственную продукцию и в грунтовые воды.

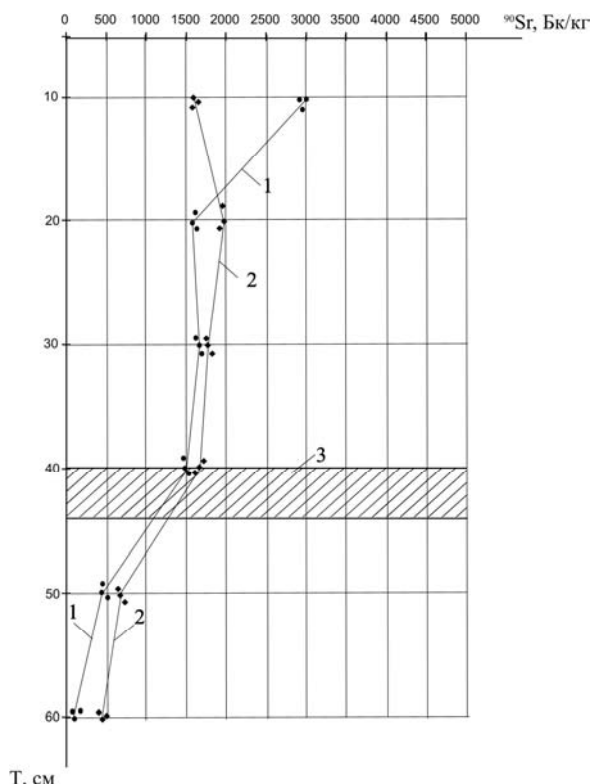
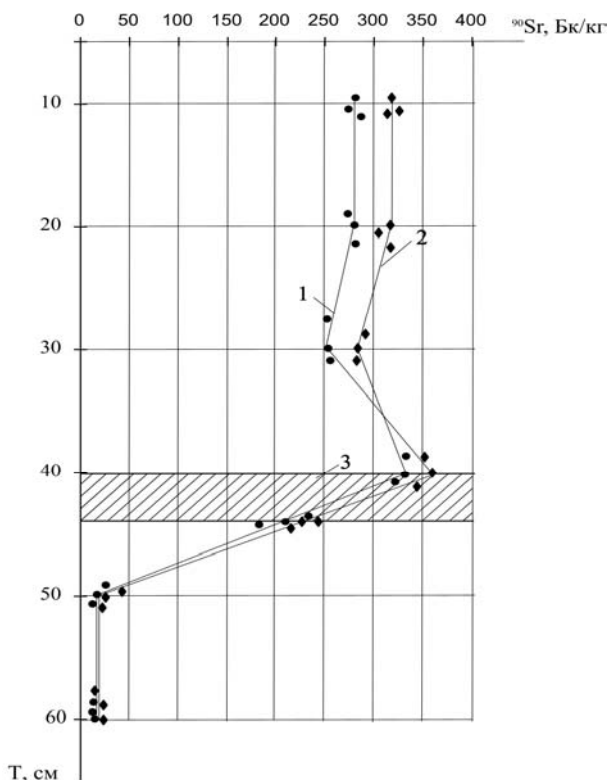


Рис. 26.10. Исследование ^{90}Sr на минеральных почвах Рис. 26.11. Исследование ^{90}Sr на торфяных почвах
1 – с вермикулитом; 2 – контроль; 3 – прослойка из ФСЕ

Учитывая данные научных публикаций [4], сделали вывод, что при реконструкции дренажа также необходимо учитывать:

- а) гидрологическую эффективность верхнего яруса ДСС;
- б) нормирование сельского хозяйственного использования торфяных и минеральных почв 1–5 Ки/км² – зона отчуждения; 5–10 Ки/км² – зона отселения.

На основании такой информации и комплекса лабораторных и полевых исследований сделан вывод о том, что для торфяных почв с фактическим уровнем загрязнения 120 Бк/кг для минеральных почв 300–400 Бк/кг рационально использовать ДСС с расстоянием между ФСЕ верхнего яруса 4–6 м (что подтверждают исследования Л. Ф. Кожушко, Н. Н. Ткачука). За счет ДСС радиационные элементы не проникают в более глубокие слои почвы, исключая возможность загрязнения грунтовых вод.

В полевых условиях также изучались закономерности миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr по вертикальному профилю торфяного грунта и пути снижения перехода его в сельскохозяйственную продукцию. Известно, что почва как основной компонент агроценоза накапливает радионуклиды и загрязняющие вещества, создает геохимические барьеры, заметно влияет на интенсивность включения радиоактивных веществ в кормовые и пищевые цепи. На аккумуляцию радионуклидов большое влияние оказывает характер почвенного и растительного покрова. На целинных участках природных лугов и пастбищ радионуклиды задерживаются в основном в верхнем пятисантиметровом слое, а на пахотных землях после обработки распределяются равномерно по всему пахотному слою. Так, по данным лизиметрических исследований Института сельского хозяйства Полесья Украинской аграрной академии наук, через 12 лет после аварии ^{137}Cs на перелогах был сконцентрирован в основном в верхнем слое почвы 0–10 см – 82 %, 10–20 см – 13 %, 20–40 см – 4,3 % [15, 21].

Данная проблема значительно обостряется в Полесской зоне, на осушаемых землях в связи с неблагоприятными в радиологическом плане природными условиями. Типичные для зоны почвы имеют набор свойств, каждое из которых в отдельности повышает риски загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr рас-

тений, а именно: разный гранулометрический состав, низкое содержание глинистых фракций, низкое содержание гумуса, низкие адсорбционные способности и емкость поглощения, низкая концентрация основных элементов питания растений, кислая реакция почвенного раствора и т. п.

В полевых исследованиях изучались вопросы вертикальной миграции ^{137}Cs по профилю торфяного грунта для установления возможности создания долговременных культурных лугов и пастбищ на радиоактивно загрязненных торфяных почвах и возможность получения продукции, пригодной для скармливания сельскохозяйственным животным.

Торфяные почвы были выбраны, поскольку коэффициент миграции и накопления радионуклидов растениями в них имеют большие значения, чем на минеральных почвах.

Целью исследований предусмотрено изучить вертикальную миграцию ^{137}Cs по профилю торфяных осушаемых почв при проведении комплекса работ, включая поверхностное улучшение, дискование, вспашку болотным плугом. Исследования проводили в опытном хозяйстве «Грозинское» в Коростенском районе Житомирской области. Агрохимические показатели почвы, на которой заложены исследования, показаны в таблице 26.4.

Таблица 26.4

Агрохимические показатели почвы

Горизонт, см	Зольность, %	РН солевой	Общее содержание, % на сухую навеску			Подвижных форм, мг/100 г почвы	
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
0-20	29,4	5,5	3,34	0,40	0,16	1,4	2,2
20-40	28,1	5,4	3,65	0,24	0,08	1,1	1,6

Как видно из таблицы 26.4, почвы опытного участка – торфяник с зольностью 29,4–29,1 % – имеют слабокислую реакцию почвенного раствора, высокое содержание азота, среднее – фосфора и низкое – калия. Плотность загрязнения торфяника в период закладки опыта в 1991 г. составила 2–11 Ки/км².

На период аварии на ЧАЭС (1986) торфяник находился под залежью, и до 1991 г. работы, связанные с обработкой почвы и внесением удобрений, не проводились. В 1991 г. согласно программе исследований был выполнен комплекс работ по поверхностному улучшению лугов (залежей) путем ежегодного внесения удобрений и коренного изменения способов обработки почвы, посева травосмеси под покров овса, ежегодного внесения удобрений.

Данные спектрометрического анализа (табл. 26.5) свидетельствуют о вертикальной миграции ^{137}Cs по профилю почвы в зависимости от способов ее обработки. Установлено, что через пять лет после аварии на ЧАЭС (1991) ^{137}Cs перераспределяется в активном слое торфяного грунта глубиной до 40 см.

Таблица 26.5

Распределение радиоцезия по вертикальному профилю на торфяных почвах (1991–2003 гг.), Бк/кг

Слой отбора почвы, см	1991 г., на закладке опыта						1998 г., через 8 лет						2003 г., через 13 лет					
	Перелог без обработки		Дискование дернины «начерно» в 3 следа		Вспашка на 40 см болотным плугом		Перелог		Дискование дернины «начерно» в 3 следа		Вспашка на 40 см болотным плугом		Перелог		Дискование дернины «начерно» в 3 следа		Вспашка на 40 см болотным плугом	
	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%
0-10	-	-	-	-	-	-	1538	82,2	1620	83,7	294	18,5	540	39	690	45,0	221	17,4
10-20	1554	76,4	1887	73,9	814	45,8	233	12,4	201	10,5	752	47,2	681	50	600	41,0	650	51,0
20-40	481	23,6	666	26,1	962	54,2	43	2,2	55	2,8	430	27,0	58	4,2	66,0	4,9	270	21,2
40-60	-	-	-	-	-	-	33	1,7	26,5	1,3	45	2,8	27	2,0	49	3,0	54	4,25
60-80	-	-	-	-	-	-	10	0,6	9,2	0,3	37	2,3	34	2,5	84	5,5	59	4,6
80-100	-	-	-	-	-	-	16	0,9	27	1,3	34	2,1	30	2,0	19,0	1,3	19	1,5
Всего	2035	100	2553	100	1777	100	1873	100	1938	100	1592	100	1370	100	1509	100	1273	100

На вариантах, где проведено поверхностное возделывание (дискование дернины «начерно») в пахотном слое (0–20) см находится 74–76 %, а в подпахотном 23–26 % ^{137}Cs , что нехарактерно для минеральных почв. При обработке болотным плугом на глубину 40 см значительное количество радионуклидов (50–60) % перемещалось в более глубокие слои почвы (20–40) см, благодаря чему состоялось равномерное их перераспределение по горизонтам и концентрация их в верхнем слое почвы (0–20 см) уменьшилась в 1,7 раза по сравнению с залежью. Это особенно важно для торфяных почв, где при интенсивном возделывании возникает опасность вторичного распространения радиоактивных элементов. Так, через 12 лет после аварии ЧАЭС количество радионуклидов от общего их коли-

чества в метровом (40–100) см слое почвы составило 2,9–7,2 %, постепенно возрастая до 6,5–10,4 % в через 5 лет.

Следует отметить, что установлено и значительное снижение суммарной активности по профилю торфяного грунта почти на треть между обследованиями (1991–2003). Это происходит за счет выноса его урожаем многолетних трав и вымывания грунтовыми водами. Исходя из того, что торфяные почвы являются критическими относительно загрязнения растениеводческой и животноводческой продукции ^{137}Cs , их следует использовать исключительно под посев многолетних трав и создания на них многолетних высокопроизводительных лугов и пастбищ. Различные способы обработки торфяной почвы в сочетании с посевом трав и ежегодным применением повышенных доз фосфорно-калийных удобрений (P_{90} , K_{180}) обеспечили высокую производительность многолетних трав. Так, в среднем за 8 лет (табл. 26.6) на вариантах, где возделывание почвы сочеталось с ежегодным внесением удобрений, получено 86–93 ц/га сухого вещества многолетних трав, при этом прибавка урожая составила 57–50 ц/га, что на 14–23 ц/га больше по сравнению с залежью. Изучение накопления радиоцезия в растительной массе (табл. 26.6) позволило установить, что в среднем за годы исследования в сухой массе многолетних трав, выращенных на участках с повышенным фоном удобрений (P_{90} , K_{180}), было наименьшим и составило 110–218 Бк/кг сухого вещества, что меньше по сравнению с контролем. Итак, глубокая вспашка дернины в 2,2–4,6 раза снижает удельную активность радиоцезия в 0–20 см слое торфа при одновременном ее с 224–265 до 548–860 Бк/кг сухого торфа в 20–40 см и до 132–321 Бк/кг в 40–60 см слое. Отсюда сделан вывод, что торфяники становятся пригодными для производства травяных кормов.

Таблица 26.6

Урожайность многолетних трав и уровень загрязнения их ^{137}Cs в зависимости от способов обработки почвы и удобрений на торфяных почвах

Удобрение	Урожай сухого вещества многолетних трав, ц/га			Средняя удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг сухого вещества в среднем за 1992–1999 гг.	
	среднее по 1992–1999 гг.	за 2 укоса		в первом укосе	в другом укосе
		прирост урожая			
	ц/га	ц/га	%		
Поверхностное улучшение (залежь)					
Без удобрений	36,0	-	-	653	585
$\text{P}_{90} \text{K}_{180}$	72,0	36,0	100,0	218	233
Дискование дернины «начерно» с посевом многолетних трав					
Без удобрений	36,5	0,5	1,4	722	621
$\text{P}_{90} \text{K}_{180}$	86,0	50,0	139	174	191
Вспашка болотных плугом на 40 см с посевом многолетних трав					
Без удобрений	38,9	2,9	8,0	352	456
$\text{P}_{90} \text{K}_{180}$	93,2	57,2	158,3	110	243

Из указанных расчетов можно сделать вывод, что безопасное состояние сельскохозяйственных почв (концентрация ^{137}Cs до 1 Ки/км²) будет наблюдаться после реконструкции мелиоративных систем только с использованием верхнего яруса, то есть – ФСЕ. При работе только верхнего яруса при расстоянии между дренами 2, 4, 6, 8, 10 м (в целом для опытного интервала). Системный эффект получим в случае полной реконструкции – строительство ДСС.

26.5. Эффективность водорегулирования осушаемых торфяных почв при различных расстояниях между фильтрующе-сорбционными элементами дренажно-сорбционной системы

Исследования, связанные с вопросами опреснения воды, образования линз пресных вод с отжимом засоленных вод при фильтрации под гидротехническими сооружениями, изучали П. Я. Полубарина-Кочина, Н. К. Гирицкий, С. Ф. Аверьянов. Эти ученые дополнили уравнение конвективной диффузии, учитывающее растворение солей в твердой фазе, и получили ряд закономерностей с кинетикой растворения и миграции солей в пористых средах. Дополнительно было предложено совместное рассмотрение уравнения фильтрации, конвективной диффузии и массопереноса [20]. Так, многие явления, исследуемые в теории тепло- и массопереноса, теории фильтрации и дисперсии, адсорбции и химической кинетике, имеют большую общность в математическом описании с процессами соле-

переноса в почвах. Поэтому исследования, проведенные в этих областях (Г. А. Аксельруд, Я. Й. Буряк, А. П. Власюк, Н. И. Гамаюнов, П. В. Данквертс, И. И. Демчик, А. Б. Здановский, П. П. Золотарев, В. И. Лаврик, В. Г. Левичев, А. В. Лыков, И. И. Ляшко, С. И. Ляшко, М. Д. Минц, В. Н. Николаевский, П. Я. Полубаринова-Кочина, Я. В. Савула, В. В. Скопецкий, Д. А. Франк-Каменецкий, А. Е. Шейдеггер и др.) повлияли на развитие количественных методов расчета миграции солей в почвах.

Изучению процессов движения солей в пористых средах посвящены исследования С. Ф. Аверьянова, И. П. Айдарова, Ф. М. Бочевер, Н. Н. Веригина, В. Н. Шестакова, Б. С. Шержукова, Д. Ф. Шульгина и др. Такие исследования показали перспективность использования аналитических методов в моделях солепереноса в почвах.

За последние 15–20 лет получили развитие математические методы прогноза движения воды и солей в почвах под действием их промывки, поливов и испарения, основанные на схематизации процессов в почвах, а именно солевыдачи и использовании закономерностей геохимической гидродинамики.

Нами предложено использовать модель, описывающую процесс вымывания ^{137}Cs из торфяного грунта и задержания его в фильтрах зависимости от размещения дрен с последующим допущениями:

1. В процессе промывки слоя торфа водой (естественная или искусственная промывка), вымываясь, кальций захватывает на себя частицы стронция и как монодисперсная радиоактивная частица кальция движется к сорбенту, находящемуся в фильтре. Причем чем меньше скорость фильтрации, тем вероятность захвата частицей кальция большего количества частиц стронция растёт, а значит, сокращается время очистки почвы.

2. В фильтре ^{90}Sr задерживается сорбентом вермикулитом. Вероятность захвата макрочастиц кальция фильтрующим слоем не зависит от количества захваченных им радиоактивных частиц. За время t формируется экспоненциальный фронт концентрации кальция, дальше этот фронт продвигается со скоростью V в фильтрующий слой с сорбентом. Слой сорбента задерживает ^{90}Sr .

3. Перенасыщение макрочастичками кальция, то есть полного срабатывания слоя сорбента, не происходит, поскольку вермикулит может сорбировать дозы, большие от реально имеющихся в почве в сотни раз. Поэтому вариант полного срабатывания исключается. В других случаях следует расчетно задаться количествами сорбента, который будет в одном погонном метре чулка, чтобы гарантированно обеспечить невозможность полного срабатывания вермикулита.

Для описания процесса вымывания ^{90}Sr из торфа в простейшем случае можно предложить следующую математическую модель вымывания и задержания ^{90}Sr на торфяных почвах в зависимости от размещения дрен и времени очистки в зависимости от загрязнения:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + V(t) \frac{\partial C_p}{\partial x} = 0 \quad (26.2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = a(t)(C_p - C_0) \quad (26.3)$$

$$C_p|_{x=0} = 0, \quad \rho|_{t=0} = \rho_0(x) \quad (26.4)$$

где $\rho(x, t)$ – плотность насыщения торфа частицами радиоактивного цезия; $C_p(x, t)$ – концентрация монодисперсных радиоактивных частиц кальция, мг / л; $C_p|_{x=0} = 0$ – концентрация радионуклидов на поверхности торфа; $\rho|_{t=0} = \rho_0(x)$ – начальная концентрация (время равно 0); C_0 – концентрация на входе фильтра; $V(t)$ – скорость потока, м/ч.

Уравнение (26.2) – это уравнение материального баланса. Оно описывает тот факт, что разница между радиоактивностью частиц кальция, вошедших за время Δt в элементарных слоях толщиной Δx со скоростью $V(t)$ и вышли из него, равно скорости уменьшения плотности насыщения торфа частицами радиоактивного цезия.

Уравнение (26.3) является уравнением вымывания частиц цезия из торфа. В нем учитывается, что скорость $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ линейно зависит от концентрации частиц кальция.

Уравнение (26.4) отражает условия, при которых модель имеет смысл.

$$a(t) = a_0 V(t) \quad (26.5)$$

Уравнение (26.5) – поправочный коэффициент, зависящий от особенностей почвы;

($a_0 = const$) – коэффициент, характеризующий интенсивность вымывания радиоактивного цезия из слоя торфа;

t – время работы модели предложенной (необходимой) очистки;

x – координата вдоль почвы, $(0 \leq x \leq L)$, характеризующий вероятность захвата n частиц радиоактивного стронция частью кальция.

Преобразуя дифференциальные уравнения (26.3) и (26.4), получим:

$$\rho t + V \frac{\partial C_p}{\partial x} = 0; \tag{26.6}$$

$$\rho t = -a(t)(C_o - C_p). \tag{26.7}$$

Объединим (26.6) и (26.7) в систему уравнений и упростим:

$$\begin{cases} \rho t + V \frac{\partial C_p}{\partial x} = 0, \\ \rho t = -a(t)(C_o - C_p) \end{cases} \tag{26.8}$$

при условии $C_o > C_p$ система уравнений (26.8) будет иметь вид:

$$\begin{cases} \rho t + V \frac{\partial C_p}{\partial x} = 0 \\ \rho t = a(t)(C_p - C_o) \end{cases} \tag{26.9}$$

где C_o – концентрация частиц кальция на входе фильтра;

C_p – концентрация монодисперсных радиоактивных частиц кальция.

При условии $C|_{x=0} = 0$, а также упростив систему уравнений, будем иметь:

$$V \frac{\partial C_p}{\partial x} + a(t)C_p = 0, \tag{26.10}$$

Из формулы (26.10) определяем C_p – концентрацию монодисперсных радиоактивных частиц:

$$C_p = e^{-\frac{a(t)x}{V(t)}} \int_0^x \frac{a(t)C_o}{V(t)} e^{\frac{a(t)x'}{V(t)}} dx' = C_o e^{-\frac{a(t)x}{V(t)}} (e^{\frac{a(t)x}{V(t)}} - 1) = C_o (1 - e^{-\frac{a(t)x}{V(t)}}),$$

где C_p – концентрация монодисперсных радиоактивных частиц кальция, которая определяется по формуле:

$$C_p = C_o (1 - e^{-\frac{a(t)x}{V(t)}}) \tag{26.11}$$

где C_o – концентрация монодисперсных радиоактивных частиц кальция на входе в фильтр.

Согласно с (4), $a(t) = a_0 V(t), a_0 = const$.

Подставив (26.5) в (26.11), получим:

$$C_p(x) = C_o (1 - e^{-a_0 x}), \tag{26.12}$$

где t – время работы модели предложенной (необходимой) очистки; x – координата вдоль почвы, $(0 \leq x \leq L)$ характеризующий вероятность захвата n частиц радиоактивного цезия частью кальция; C_p – концентрация монодисперсных радиоактивных частиц кальция.

Заполнение фильтрующего слоя сорбентом происходит по законам, соответствующим той или иной изотерме сорбции.

Предполагается, что вероятность захвата макрочастиц кальция фильтрующим слоем не зависит от количества захваченных ею радиоактивных частиц. Итак, физическая картина заполнения фильтрующего слоя сводится к следующему. За время t формируется экспоненциальный фронт концентрации кальция. Далее этот фронт начинает продвигаться вдоль этого слоя со скоростью V . Слой сорбента задерживает все частицы кальция независимо от их радиоактивности. Соотношение между частями не зависит от x и t при постоянной концентрации на входе слоя сорбента.

Область применения модели (26.2)–(26.4) ограничена требованиями, $C(x, t) \geq 0, \rho(x, t) \geq 0$, то есть $\rho(x, t)$ – плотность насыщения торфа частицами радиоактивного цезия так же, как и $C(x, t)$ – концентрация частиц кальция не может быть меньше 0. Если одно из этих требований нарушается в некоторой области, то тогда необходимо учесть дополнительные условия, несмотря на то, что это усложняет поиск решений модели (время). Заметим, что для произвольных нисходящих начальных решений $\rho_0(x)$ в режиме постоянной скорости фильтрования концентрация ρ всегда неотъемлемая, то есть в этом случае математическая модель (26.2)–(26.4) всегда достаточно адекватна реальным процессам.

Расчет модели (26.2–26.4) проводился в среде математического программного комплекса Mathcad с учетом и без учета дополнительных условий (максимальное распределение на входном слое фильтра, при прямоугольной изотерме сорбции). При проведении расчетов получены экспериментальные данные, которые сравнивались с лабораторными измерениями. Для наглядности данный блок расчетов был дополнительно реализован в табличном редакторе Microsoft Excel пакета Microsoft Office.

Конечным результатом расчета было время, которое необходимо для установления экспериментального показателя концентрации монодисперсных радиоактивных частиц Ca^{2+} в почве, то есть время, за которое вермикулит задержит 100 мг/л радиоактивного Ca^{2+} на уровне полученного в лабораторных условиях, а также:

1) установление тенденций уменьшения радиационных частиц в торфе от ^{137}Cs при условии постоянного поступления в торф кальция (рост) C_p до полного его уменьшения при условии линейной зависимости $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ от концентрации частиц кальция;

2) установление тенденций уменьшения радиационных частиц в торфе от стронция при условии отсутствия поступления в торф кальция (C_0 с момента достижения измеренной концентрации, табл. 26.7) до максимально возможного уменьшения при условии линейной зависимости $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ от концентрации частиц кальция.

В результате сравнение полученных данных показало отклонения рассчитанных экспериментальных данных с лабораторными показателями в пределах $\pm 5\text{--}20\%$, что удовлетворяет условиям допустимых статистических погрешностей при измерениях и расчетах показателей природных факторов и условий. Кроме того, отклонение может быть объяснено и уменьшено при учете дополнительных грунтовых показателей, которые непосредственно влияют на составляющие расчетных формул модели. В результате были получены данные времени, которые необходимы для установления экспериментального показателя C_p на уровне измеренного, полученного в лабораторных условиях (например, для слоя 0,05 м):

t образец 1 \approx 42 часа 50 мин., t образец 2 \approx 2 часа 06 мин.

Как видно из таблиц, наибольшее уменьшение радиационного загрязнения будет в первом образце, где скорость потока меньше, а значит, вероятность захвата частицами кальция большего количества частиц ^{90}Sr выше (табл. 26.6). Значительно медленнее идет уменьшение от ^{90}Sr для образца 2, где скорость потока выше, а значит, вероятность захвата частицами кальция большего количества частиц ^{90}Sr значительно ниже (табл. 26.7). Кроме того, четко просматривается формирование экспоненциального фронта концентрации кальция от верхних до нижних слоев. Четко устанавливается тенденция спада концентрации кальция без его дополнительного поступления.

Таблица 26.7

Уменьшение количества радионуклидов в расчетном слое торфа

Слой почвы, м	Время очистки, час	Концентрация монодисперсных радиоактивных частиц Ca^{2+} в фильтре C_p , мг / л
Динамика процесса очистки на разных глубинах (от 0,05 до 0,4) м, образец 1		
0,05	12,3	100
0,1	6,6	100
0,15	4,2	100
0,2	3,6	100
0,25	3,0	100
0,3	2,4	100
0,35	1,8	100
0,4	1,8	100
Динамика процесса очистки на разных глубинах (от 0,05 до 0,4) м, образец 2		
0,05	258	100
0,1	132	100
0,15	90	100
0,2	66	100
0,25	51,6	100
0,3	43,2	100
0,35	36,6	100
0,4	32,4	100

Данная модель расчета является универсальной и может быть реализована в математическом программном комплексе. Кроме того, она может быть использована как компьютерная программа для расчетов приблизительного времени очистки торфяного грунта и заданной концентрации радионуклидов. Как видно на примере расчетов (модели), скорость и степень снижения радионуклидов в почве не зависят от количества заложенного вермикулита, но зависят от расстояний между дренами, поскольку они определяют скорость потока фильтрационной воды в почве и значение коэффициента фильтрации. Блок-схема моделирования миграции ^{90}Sr в торфяных почвах дана на рисунке 26.12.

Следовательно, при расчете расстояния между дренами стоит задаваться такими расстояниями, при которых скорость движения воды в почве будет как можно ниже, ведь в этом случае возрастает степень очистки, что подтверждает модель расчета. В модели учтены положения по расчету дренажных систем в зависимости от типа почвы и коэффициента фильтрации грунтов (коэффициент фильтрации введен в расчет модели для определения времени очистки).

Количества вермикулита, которое заложено в ФСЕ (от 1 кг на 1 погонный метр чулка), вполне достаточно для того, чтобы осуществить очистку почвы и не достичь предела перенасыщения (достичь 100 % срабатывания), поскольку каждая эффективная частица вермикулита способна захватить несколько агрегатных частиц кальция или ^{90}Sr и кальция.

При меньшей скорости движения дренажных вод очистка (снижение концентрации радиоактивного ^{90}Sr) происходит в более короткие сроки. Задаваться расстоянием между дренами необходимо согласно расчету дренажных систем – в зависимости от почв и их коэффициента фильтрации, согласно требованиям ДБН 2.4.1.99 «Мелиоративные системы и сооружения». Значение коэффициента фильтрации грунтов можно вводить в расчет модели для определения времени очистки [36, 37, 38].

Данную концентрацию (максимально возможную) можно рассчитать согласно измерениям содержания кальция (не радиоактивного) и ^{90}Sr . При условии достижения концентрации данных частиц порога срабатывания (если такая ситуация действительно возникнет – согласно проведенных расчетов) достаточно увеличить количество закладки вермикулита в чулок.

По результатам полевых и лабораторных исследований, а также проведения машинного эксперимента с использованием общеизвестных программного обеспечения и математической модели Д. М. Минца были определены закономерности спада концентрации радионуклидов в слое торфяного грунта 0,4 м (по слоям через 0,05 м) во времени в зависимости от фильтрационных, сорбционных свойств и параметров ФСЕ ДСС.

Полученные закономерности изменения концентрации Ca^{2+} модельного раствора во времени имеют выраженный линейный характер (рис. 26.13), что совпадает с результатами аналогичных исследований, выполненных С. Ю. Громаченко, по изучению фильтрации и сорбции дренажно-аккумулирующих траншей, заполненных смесью почвы и мелиоранта-сорбента в зоне складирования твердых бытовых отходов. Данные закономерности позволили определить параметры снижения радиационного загрязнения торфяных почв во времени по существующим официальным уровням в зоне их распространения (табл. 26.8) в зависимости от параметров верхнего яруса ФСЕ ДСС.

Таблица 26.8

Снижение радиационного загрязнения в слое 0,4 м торфяных почв во времени по существующим официальным уровням в зоне их распространения при различных расстояниях между ФСЕ

В _ф , м	Снижение радиационного загрязнения почв с исходным уровнем			t _c , час.
	> 15 Ки / км ²	(5...15) Ки / км ²	(1...5) Ки / км ²	
2	1,60	1,40	0,40	4-10
4	1,87	1,58	0,54	11-18
6	2,17	1,78	0,69	17-28
8	2,85	2,02	0,76	29-35
10	3,45	2,35	0,92	36-40

Примечание. Используются обозначения: t_c – время снижения радиационного загрязнения в слое торфа 0,4 м, ч.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение ДСС на осушаемых торфяных почвах позволяет снизить уровень их радиоактивного загрязнения по зонам распространения: при исходном загрязнении более 15 Ки/км² (зона принудительного отселения) – до 1,60...3,45 Ки/км²; 5...15 Ки/км² (зона возможного проживания и использования земель без потребления выращенной продукции) – до 1,40...2,35 Ки/км²; 1...5 Ки/км² (зона проживания, выращивания и потребления продукции – занимает около 65...70 %) – до экологически безопасного уровня 0,10...0,92 Ки/км². При этом время снижения, в том числе до экологически безопасного уровня, составляет от 2 до 40 ч, а лучший результат достигается при расстоянии между ФЭС 2...4 м.

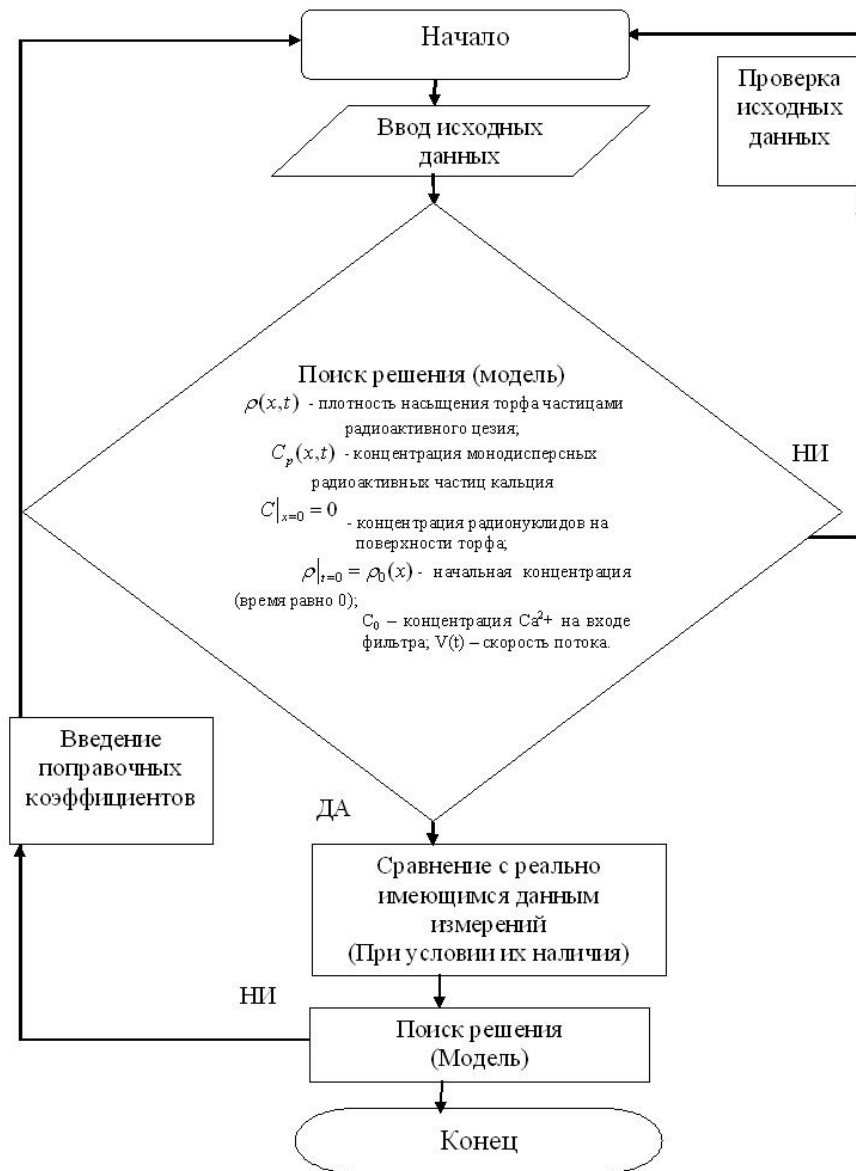


Рис. 26.12. Блок-схема моделирования миграции ^{90}Sr в торфяных почвах

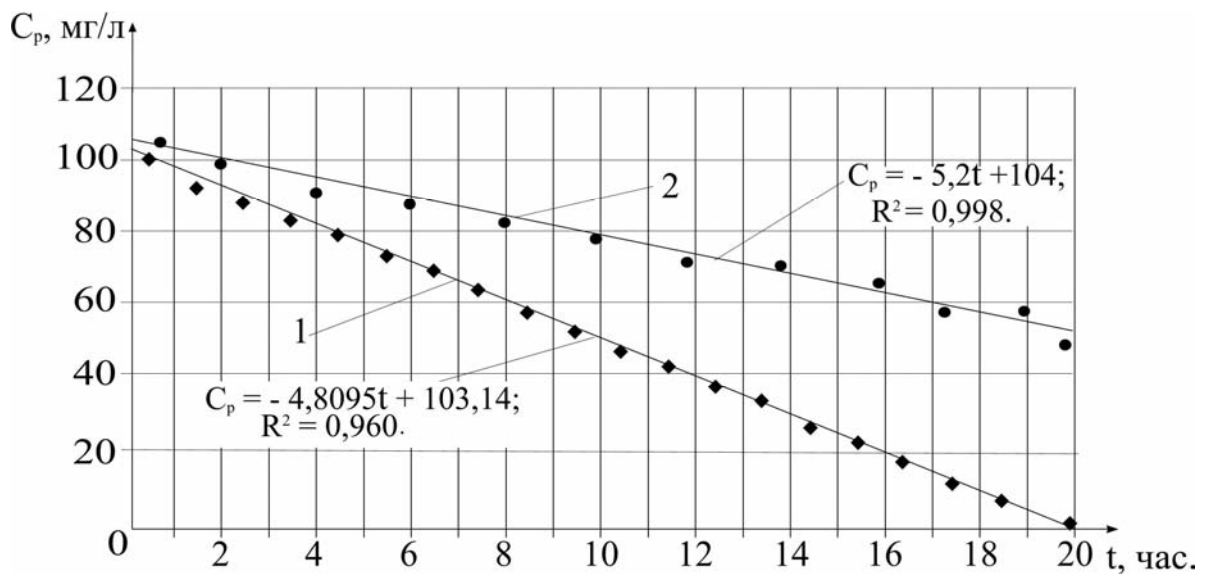


Рис. 26.13. График изменения во времени концентрации Ca^{2+} в модельном растворе при пропуске его через торфяной грунт в его сухом (1) и увлажненном (2) состоянии

26.6. Обоснование параметров дренажно-сорбционной системы

Полученные нами закономерности во времени относительно параметров устройства ФСЕ ДСС позволяют определять расстояния между ними расчетным путем. Для этого используем существующие методы и модели расчета параметров фильтрующе-аккумулирующих элементов, предложенные Л. Ф. Кожушком и П. М. Скрипчук [31]. Расчет осуществляется согласно расчетной схеме, представленной на рисунке 26.14.

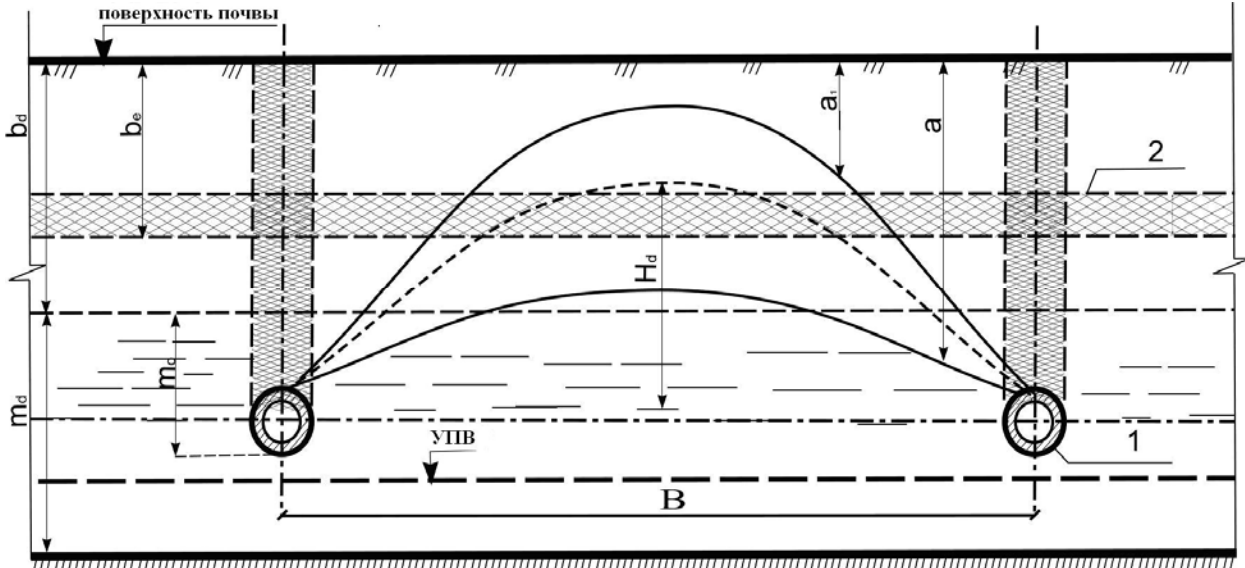


Рис. 26.14. Расчетная схема для определения параметров комбинированной дренажно-аккумулирующей системы

Расстояния между ФСЕ ДСС определяются по общепринятой формуле В. В. Шестакова, А. Я. Олейника [38, 39].

$$B_i = 4 \left(\sqrt{L_{f_i}^2 + \frac{HT}{2q_i}} - L_{f_i} \right) \quad (26.13)$$

где L_{f_i} – общие фильтрационные сопротивления по степени и характеру вскрытия пласта; H – расчетный напор, м; T – проводимость пласта, $\text{м}^2/\text{сут}$; q – интенсивность инфильтрационного питания, $\text{м}/\text{сут}$.

Модуль дренажной системы по формуле Л. Ф. Кожушко:

$$q_i = q_{ni} + q_{ai} + q_{ei}, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{за}). \quad (26.14)$$

Часть общего модуля дренажного стока, которая аккумулируется в верхнем ярусе:

$$q_{ai} = \frac{V_{ai} \cdot 1000}{86400 \cdot t}, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{за}), \quad (26.15)$$

где V_{ai} – объем воды, который будет аккумулирован в фильтрующе-аккумулирующих элементах.

Модуль стока верхнего яруса:

$$q_{ei} = \frac{2\pi \cdot \rho^B (1-n) \cdot D_e^i (B_e - a_1 - D_e^i) \cdot L_i^B}{B^2 \cdot 86400}, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{за}) \quad (26.16)$$

где B_e – глубина закладки элемента, м; L – расстояния между дренами, м; B – уменьшение площади поперечного сечения фильтрующего элемента.

Модуль стока дрен нижнего яруса:

$$q_{ni} = \frac{H_p \cdot T}{2 \cdot \left(\frac{B_H}{4} + L_{нд}^2 \right)}, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{за}). \quad (26.17)$$

Особенностью дренажно-сорбционной системы является необходимость учета при ее работе как фильтрационной, так и сорбционной способности ФСЕ. Это может быть достигнуто при условии согласования скорости фильтрации и скорости сорбции согласно результатам исследований С. Ю.

Громаченко и А. Н. Рокочинского [27, 28]. Тогда учет совместной реализации фильтрационной и сорбционной функции ФСЕ длиной l_φ заключается в обеспечении очистки потока грунтовых вод от загрязняющих веществ, $\{\varphi\}$, в торфяных $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$ почвах определяется таким условием:

$$t_\varphi = \frac{l_\varphi}{k_3} > t_r = 2\tau_{\varphi}, \text{ год}, \quad (26.18)$$

где t_φ – время прохождения потока грунтовых вод, что загрязненная радионуклидами, $\{\varphi\}$ $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$ – через фильтрующе-сорбционный элемент дренажно-сорбционной системы; t_r – время реакции системы «вермикулит – сорбент» по поглощению конкретного вещества, $\{\varphi\}$; $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$; k_3 – коэффициент фильтрации смеси фильтрующе-сорбционного материала фильтрующе-сорбционного элемента дренажно-сорбционной системы (вермикулит выступает в качестве сорбента).

При выборе оптимальных параметров ДСС учитываем исследования Л. Ф. Кожушко, П. М. Скрипчук, Л. С. Серилко по вопросам выбора оптимальной толщины, плотности, коэффициента фильтрации и технологических параметров изготовления объемных дренажных фильтров на пластмассовых трубах и дренажно-сорбционных устройствах [31, 40].

С одной стороны, увеличение толщины фильтра за счет уменьшения фильтрационных сопротивлений позволяет увеличить расстояние между дренами, то есть уменьшить строительные затраты на единицу площади, с другой стороны, растут расходы материала на изготовление фильтра. Кроме этого, уменьшение плотности фильтра позволяет снизить расход материала и увеличить расстояние между дренами. Но при определенной нагрузке на фильтр он начинает деформироваться, что уменьшает интенсивность осушения. Поэтому среди многих значений разной толщины, плотности, диаметра дрен, типа фильтрационной схемы нужно выбрать наиболее оптимальный вариант с точки зрения экономики, обеспечение необходимого уровня грунтовых вод и максимальной дезактивации торфяных почв. Анализ параметров объемных дренажных фильтров и фильтрующе-сорбционных элементов проведен с использованием вермикулита. Результаты теоретических, лабораторных, полевых исследований показали, что оптимальным является фильтр, состоящий из соломы 25 % + торфа 50 % + вермикулита 25 %.

Критерием оптимальности был минимум капиталовложений в строительство дренажа с фильтрами при обязательном обеспечении расчетного модуля дренажного стока:

$$K = ZD + ZK + ZF \Rightarrow \min, \quad (26.19)$$

где K – затраты на строительство дренажа без учета стоимости фильтра, грн./га;

ZD – стоимость и затраты на изготовление ФСЕ, грн./га;

ZK – стоимость и затраты на изготовление дрен с фильтрами и ФСЕ, грн./га;

ZF – стоимость материалов и затраты на изготовление дрен с фильтрами и ФСЕ, грн./га.

$$ZD = K_{ZD} \times L_0, \quad (26.20)$$

где K_{ZD} – стоимость строительства 1 п. м дренажа без фильтра, определяется по калькуляции, грн./га; L_0 – длина дрен на единице площади, м/га;

$$L_0 = \frac{10000}{E}, \quad (26.21)$$

где E – расстояние между дренами, м;

$$ZF = K_{ZF} \times P_0 \quad (26.22)$$

где K_{ZF} – стоимость фильтра с учетом стоимости материала и затрат на изготовление фильтра, грн./га;

P_0 – расход фильтрующего материала на единицу площади, кг/га.

$$P_0 = \pi \times (t(D + t))\rho \times L_0, \quad (26.23)$$

где t – толщина фильтра, м;

D – диаметр дрен, м;

ρ – плотность фильтра, кг/м³.

Аналогично определяем стоимость 1 п. м. ФСЕ и стоимость ФСМ. Исследованиями Л. Ф. Кожушко было установлено, что оптимальными для условий зоны Полесья Украины (торфяные почвы) является расстояние между дренами 12–14 м и 4–6 м для фильтрующе-сорбционных устройств. Различные значения расстояний между ФСЕ с учетом опыта строительства ДАС и затрат на их строительство в зависимости от расстояний верхнего яруса [30] приведены в таблице 26.9.

Расходы торфа, вермикулита, соломы для строительства ДСС

Название материала	Расстояние между ФСЕ (верхний ярус)	Количество материала для устройства верхнего яруса на 1 га, м ³	Количество материала для устройства ДСС на 1 га, м ³
Торф	2	12,56	15,73
	4	6,26	9,43
	6	4,17	7,34
	8	3,12	6,29
	10	2,50	5,67
Вермикулит	2	6,28	7,86
	4	3,14	4,72
	6	2,10	3,68
	8	1,56	3,14
	10	1,25	2,83
Солома	2	6,28	7,86
	4	3,14	4,72
	6	2,10	3,68
	8	1,56	3,14
	10	1,25	2,83

Для подсчетов расходов ФСМ используют результаты исследований фильтрационных и деформационных характеристик, а результаты расчетов представлены на рисунке 26.15.

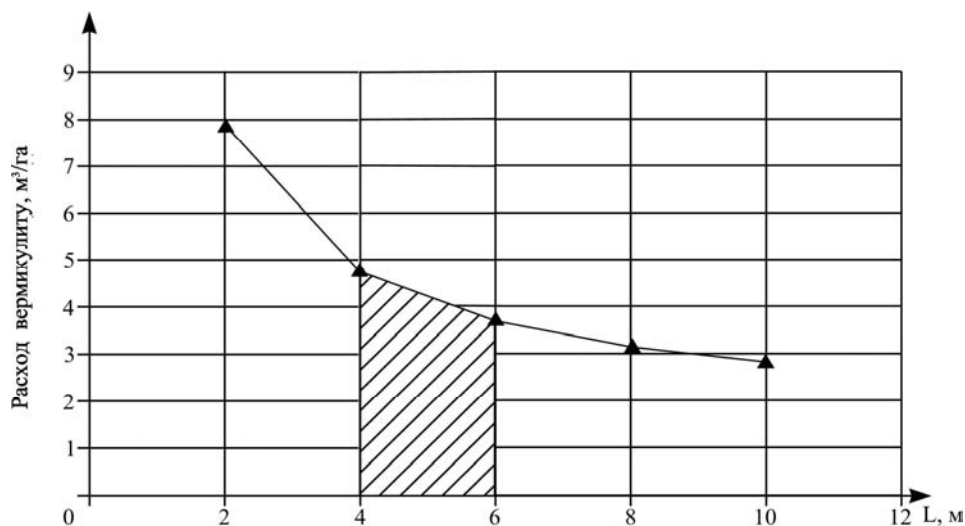


Рис. 26.15. Расход вермикулита в зависимости от расстояний между ФСЕ для верхнего яруса

Зависимость стоимости вермикулита для ДСС при различных расстояниях ФСЕ приведена на рисунке 26.16. При известных значениях по формулам (26.20)–(26.22) определяют значение критерия оптимизации. При этом необходимо заметить, что при большем значении между дренами нижнего яруса и ДСС (верхнего яруса) капиталовложения в строительство дренажа и изготовление объемных фильтров дрен и ФСЕ будет уменьшаться. Но, как известно, для обеспечения работы ДСС существуют ограничения по расстояниям между дренами для осушаемых почв с учетом природно-климатических условий (расстояния между дренами и ФСЕ). Поэтому из графика зависимости затрат вермикулита и общей стоимости строительства ДСС (рис. 26.15) оптимальное количество вермикулита на 1 га составляет 2,6 м³/га, а общая стоимость – 4200 грн./га (рис. 26.16).

Расстояние между ФСЕ принималось из расчета от 2 до 10 м. Диапазон расчета не продолжался в сторону увеличения, поскольку расстояние между ФСЕ более 10 м является нерациональным, исходя из требований обеспечения работы ДСС, оптимального водно-воздушного режима осушаемых земель [30], исследований автора по вертикальной миграции и эффективности сорбции радионуклидов в торфяных почвах.

На рисунке 26.17 показана зависимость капитальных вложений и эффективности сорбции (разы) в зависимости от расстояний между ФСЕ. Проанализировав ее, мы сделали вывод о том, что расходы смеси вермикулита и соломы от 15,72 до 5,66 м³/га существенно не влияют на абсолютную

величину сорбции ^{137}Cs в фильтре из соломы и вермикулита. Оптимальными являются расстояния между ФСЕ от 4 до 6 м в зависимости от степени разложения торфа, риска по понижению уровня грунтовых вод [30, 40].

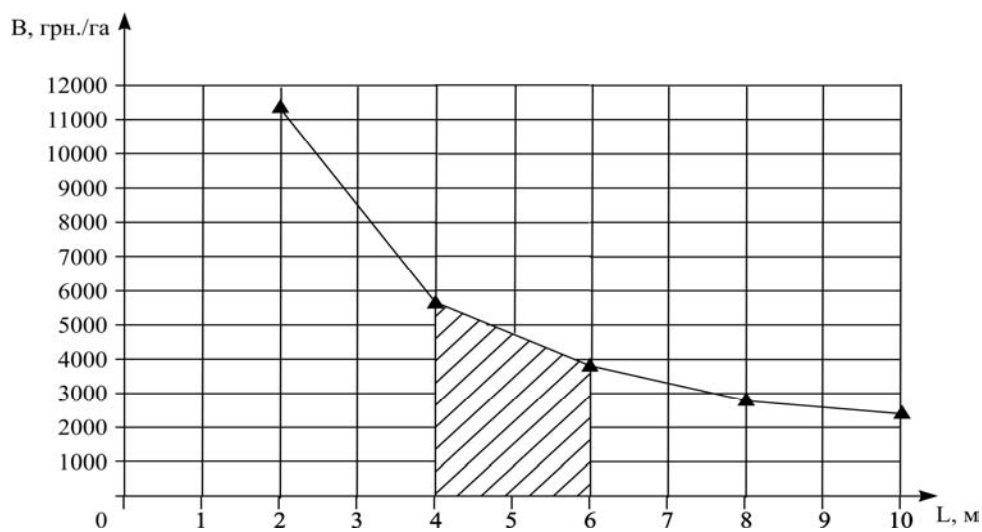


Рис. 26.16. Общая стоимость вермикулита для ДСС в зависимости от расстояний между ФСЕ

Подсчеты эффективности уменьшения суммарного загрязнения (рис. 26.16) показали, что при расстоянии между ФСЕ верхнего яруса 2 м уменьшение суммарного загрязнения торфяного грунта будет равно в 25,6 раза.

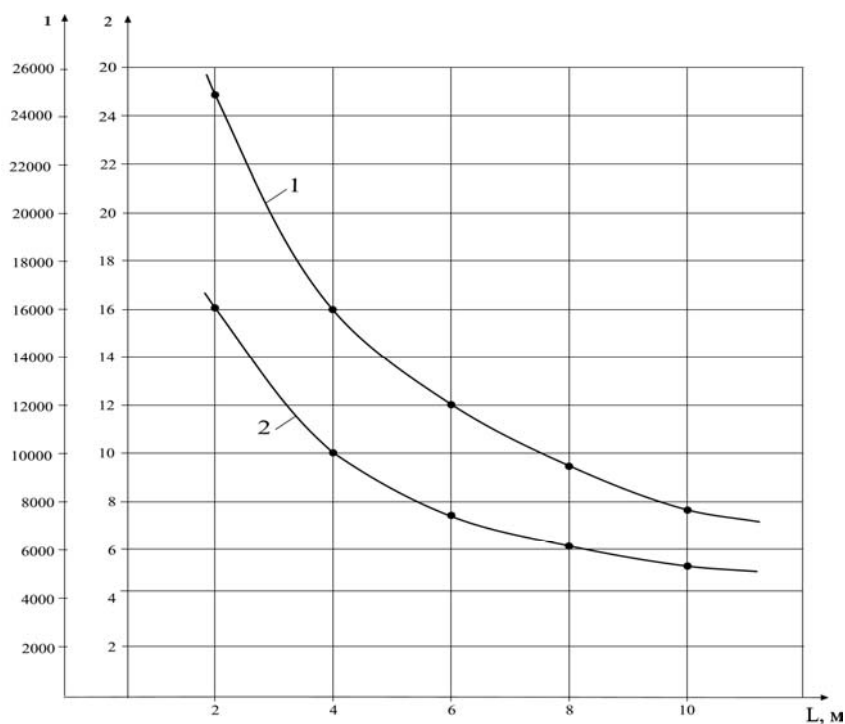


Рис. 26.17. Определение расстояния между ФСЕ в зависимости от затрат на строительство и снижение радиационного загрязнения торфяных почв:

1 – капитальные вложения на строительство ДСС в зависимости от расстояний между ФСЕ верхнего яруса, грн./га; 2 – уменьшение загрязнения верхнего слоя торфяного грунта при различных расстояниях ФСЕ, Бк/кг

Следовательно, при фоновом значении загрязнения торфяных почв с. Грозино Коростенского района Житомирской области в 120 Бк/кг уменьшится по подсчетам до 0,19 Ки/км², что фактически соответствует экологически безопасным показателям (на уровне фоновое загрязнение до аварии на ЧАЭС в слое 0–40 см). При расстоянии в 4 м (между дренами дренажно-сорбционного элемента верхнего яруса) суммарное загрязнение уменьшится в 16 раз и составит 0,06 Ки/км². При расстоянии в 6 м загрязнение уменьшится в 12,8 раза.

Из указанных расчетов можно сделать вывод о том, что безопасное состояние сельскохозяйственных почв (концентрация ^{137}Cs до $1 \text{ Ки}/\text{км}^2$) будет наблюдаться после реконструкции мелиоративных систем только с использованием верхнего яруса, то есть ФСЕ. При работе только верхнего яруса при расстоянии между дренами 2, 4, 6, 8, 10 м (в целом для опытного интервала) системный эффект получим в случае полной реконструкции – строительстве ДСС.

Анализируя рисунок 26.17, можно прийти к заключению: для дрен верхнего яруса оптимальным будет расстояние от 4 до 6 м, исходя из комплексного анализа расчета капитальных вложений, стоимости вермикулита и уменьшения суммарного загрязнения верхнего слоя торфяного грунта 0–40 см.

Итак, ДСС обеспечивает эффективное регулирование водно-воздушного режима, гидрологическую эффективность верхнего яруса ДСС и получения экологически чистого сырья и продукции.

Литература

1. Вертикальный перенос радионуклидов выброса ЧАЭС и методы его прогнозирования / Н. А. Лоцилов, Ю. А. Иванов, В. А. Кашпаров [и др.] // Радиоэкологические и экономико-правовые аспекты землепользования после аварии на Чернобыльской АЭС : материалы науч. конф. – Ч. 1. – Киев: 1991. – С. 165–170.
2. Барьяхтар В.Г. Чернобыльская катастрофа: проблемы и решения // Доклад АН Украины. – 1992. – № 4. – С. 151–164.
3. Трушева С. С. Вплив сільськогосподарського використання на склад, властивості та гумусовий стан дерново-слабопідзолистих ґрунтів Житомирського Полісся : автореф. дис. ... канд. с-г. наук. – Рівне, 1996. – 22 с.
4. Веремеєнко С. І., Косолапова Е. В. Методика оцінки територій, забруднених радіонуклідами // Оптимізація структури агроландшафтів і раціональне використання ресурсів. – Київ, 2000. – С. 5–6.
5. Тюрюканова Э. Б. Экология стронция-90 в почвах. – М.: Атомиздат, 1976. – 160 с.
6. Перепелятнікова Л. В., Перепелятніков Г. П., Пристер Б. С. Научное обоснование мелиорации радиоактивно загрязненных почв // Вісник аграрної науки. – Квітень, 2001. – С. 61–68.
7. Гулякин Б. Н., Юдинцева Е. В. Сельскохозяйственная радиобиология. – М.: Колос, 1973. – 270 с.
8. Науково-практичні основи екологічного менеджменту осушуваних земель Українського Полісся : монографія / за ред. Л. Ф. Кожушко, П. М. Скрипчук, П. І. Біда. – Рівне: НУВГП, 2007. – 134 с.
9. Митин В. Ф., Акимов Н. В. Фильтрующие материалы и засыпки для закрытого дренажа в зоне осушения // Мелиорация и водное хозяйство : обзор. информ. – 10 вып. : Водохозяйственное строительство. – М.: ЦБНТИ, 1989. – 30 с.
10. Архипов И. П., Февралева Д. Т. Связь между первоначальным задержанием радиостронция и биомассой растений // Экология. – 1981. – № 4. – С. 86–88.
11. Алиев Д. А., Гюлялиев Т. Д., Алексахин Р. М. Распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах Азербайджана и накопление этих радионуклидов сельскохозяйственными растениями // Агрехимия. – 1991. – № 11. – С. 89–95.
12. Петрова Т. Т. Накопление радиоцезия растительностью на территории БССР, выведенной из севооборота // Тезисы Всесоюз. конф. – Обнинск, 1991. – Т. 1. – С. 10–11.
13. Chemicki W., Wichowicz J., Araszkiwicz E. Zastosowanie cezu-137 do badania procesow stokowych na Pogorzu Karpackim // Przegląd Geofizyczny. – 1992. – Vol. 37. – 3–4. – P. 221–228.
14. Вертикальна міграція радіоцезію по профілю мінеральних і торфових осушених ґрунтів // М. С. Рижук [та ін.] // Вісник Харківського національного аграрного університету. – 2002. – № 6. – С. 28–241.
15. Рижук С. М., Быстрицкий В. С., Савело В. И. Влияние способов возделывания почвы и удобрений на производительность многолетних трав и накопление ними радионуклидов на загрязненных торфяно-болотных грунтах Полесья Украины // Агроекологический журнал. – 2002. – № 4.
16. Поникарова Т. М., Дричко В. Ф., Пархоменко В. И. Влияние агрохимических факторов на накопление радиоцезия растениями из торфяных почв // Проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС : тез. докл. Всесоюз. конф. / Ленингр. гос. аграр. ун-т. – Т. 1. – Обнинск, 1991. – С. 125–126.
17. Коноплева И. В., Подворко Г. А. Изучение вертикальной миграции ^{137}Cs в болотных почвах // Проблемы сільськогосподарської радіології: 17 років після аварії на Чорнобильській АЕС : збірник. – Житомир, 2003. – С. 65–69.
18. Fedorowicz S., Tylmann W., Dobrowolski R., Turczyski M. Application of ^{137}Cs to estimate modern sedimentation rate in the Okunin and Czerepacha lakes in the Volhynia Polesie (NW Ukraine) // Limnological Review. – 2002. – P. 2.
19. Демчик І. І. До теорії процесів масопереносу у двошарових фільтрах // Вісник НУВГП : зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2004. – Вип. 3(27). – С. 239–250.
20. Вероятностная оценка факторов горизонтальной миграции радиоцезия в Полесье / М. И. Долгилович, Г. И. Васенко [и др.] // Проблемы сельскохозяйственной радиологии – десять лет спустя после аварии на ЧАЭС : тез. докл. II междунар. конф. – Житомир, 1996. – С. 96–99.
21. Савело В. І., Быстрицкий В. С. Вивчення впливу способів обробітку ґрунту, добрив, та меліорантів на продуктивне довголіття травостоїв та їх забруднення радіонуклідами на торфово-болотних ґрунтах Центрального Полісся України. – Грозино, 2000. – 103 с.

22. Біда П. І. Дослідження вертикальної міграції радіонуклідів в торфових ґрунтах Полісся // Екологія. Людина. Суспільство : збірка тез. доповідей VII Міжнар. наук.-практ. конф. студентів аспірантів та молодих вчених / Київ. політех. ін-т. – Київ, 2004. – 88 с.
23. Дренажно-акумуляюча система: патент № 56410 А виданий 20.03.2002 до друку 15.05.2003 // Інтелектуальна власність : бюлетень № 5. Кожушко Л. Ф., Серілко Л. С., Біда П. І.
24. Дренажно-сорбційна система : патент № 61358 А виданий 04.01.2003 до друку 17.11.2003 // Інтелектуальна власність : бюлетень № 11. Кожушко Л. Ф., Серілко Л. С., Скрипчук П. М., Біда П. І.
25. Савело В. І., Бистрицький В. С. Вивчення впливу способів обробітку ґрунту, добрив, та меліорантів на продуктивне довкілля травостоїв та їх забруднення радіонуклідами на торфово-болотних ґрунтах Центрального Полісся України. – Грозино, 2000. – 103 с.
26. Гордійчук А. С., Стахів О. А. Методика економічної оцінки ефективності водогосподарських заходів : навчальний посібник. – Рівне: РДТУ, 2000. – 134 с.
27. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромащенко. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
28. Громаченко С. Ю. Обґрунтування меліоративних заходів для захисту від забруднення територій і водних об'єктів у зоні складування твердих побутових відходів : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2012. – 20 с.
29. Хлапук М. М. Математична модель роботи модуля автоматизованої осушувально-зволожувальної системи // Меліорація і водне господарство : міжвід. темат. наук. збірник. – Київ, 2007. – Вип. 95. – С. 235–245.
30. Кожушко Л. Ф. Удосконалення дренажних систем : монографія. – Рівне: Видавництво РДТУ, 2001. – 279 с.
31. Веремеєнко С. І. Еволюція та управління продуктивністю ґрунтів Полісся України : монографія. – Луцьк, 1997. – 314 с.
32. Біда П. І. Вплив природного меліоранту вермикуліту на вертикальну міграцію ^{137}Cs на торфово-болотних та мінеральних осушених ґрунтах Полісся України // Вісник НУВГП : зб. наук. пр. Серія: Технічні науки. – 2005. – Вип. 3 (31). – С. 75–84.
33. Клименко О. М., Мороз С. О. Особливості меліорації забруднених радіонуклідами ґрунтів Західного Полісся // Вісник УДАВГ. – 1997. – Вип. 1. – С. 73–76.
34. Татьяна В. Н. Некоторые инвариантно-групповые решения уравнения движения порошкообразной среды в винтовом канале пластификатора. – Теор. основы хим. технол. – 1989. – Т. 23. – № 1. – 705 с.
35. Поведение радионуклидов цезия и стронция в лесных и луговых фитоценозах / Е. А. Федоров, Е. Г. Мартюшов, Н. В. Гуров [и др.] // Экология. – 1989. – № 5. – С. 79–81.
36. Біда П. І. Математичне моделювання міграції ^{137}Cs в торфових ґрунтах зони Полісся України // Вісник НУВГП : зб. наук. пр. Серія: Технічні науки. – 2007. – Вип. 4 (40). – Ч. 1. – С. 203–210.
37. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подвода водопонижения и дренажу. – М.: МГУ, 1965. – 233 с.
38. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. – Киев: Наук. думка, 1987. – 280 с.
39. Кожушко Л. Ф., Серілко Л. С. Технологія виготовлення об'ємних дренажних фільтрів : монографія. – Рівне: РДТУ, 2001 р. – 156 с.
40. Скрипчук П. М. Оптимізація параметрів об'ємних фільтрів із органічних матеріалів : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Рівне: УДАВГ, 1996. – 20 с.

Глава 27. ТЕПЛОВЫЕ МЕЛИОРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБРОСНЫХ ТЕПЛЫХ ВОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ ПОЛЕСЬЯ

27.1. Исходные предпосылки

По статистическим данным, первое место по количеству воды, забранной из водных объектов, принадлежит энергетике и промышленности (около 48 % водозабора). Вода в промышленности используется на различные нужды, в частности в качестве теплоносителя для охлаждения нагретого в технологических процессах оборудования, агрегатов, механизмов, инструмента и т. д. При этом максимальные объемы использования природной воды для охлаждения оборудования имеют место в электроэнергетике на тепловых и атомных электростанциях.

Современная тепловая электростанция (ТЭС) мощностью 1,0 млн кВт потребляет для нормальной работы в летний период 45–50 м³/с воды, а атомная электростанция (АЭС) – в 1,2–1,8 раза больше по сравнению с тепловой. В процессе прохождения воды через охлаждающие установки станций (конденсаторы турбин) она отбирает тепло оборудования и нагревается. Ее температура, по сравнению с начальной, повышается летом на 7–8 °С, а зимой – на 12–14 °С. Весной ее температура составляет 20–25 °С, что является важным тепловым ресурсом для аграрного сектора [1] (рис. 27.1).

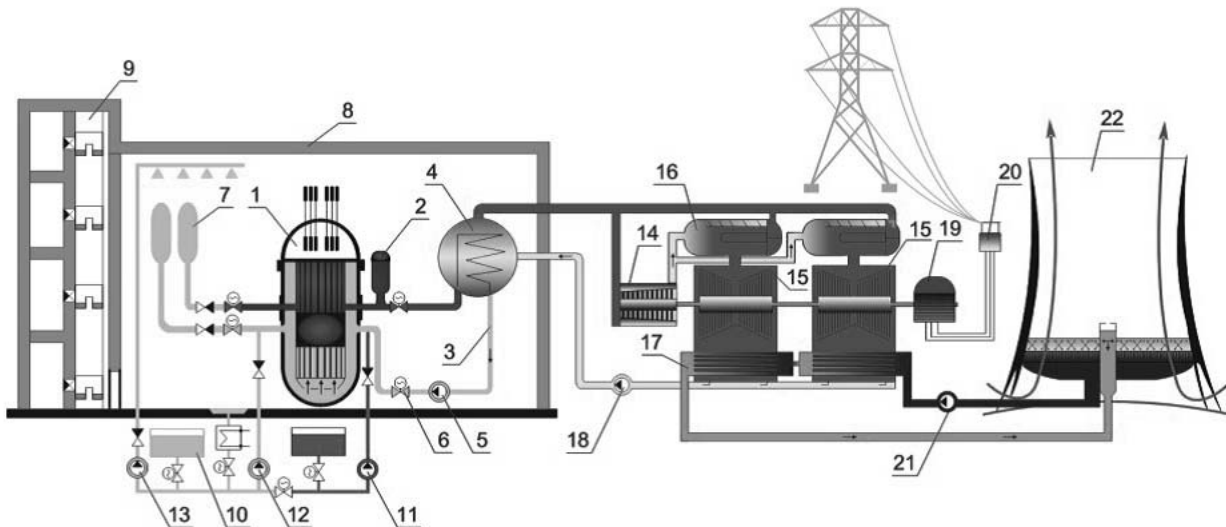


Рис. 27.1. Технологическая схема получения электроэнергии на электростанции:

1 – реактор; 2 – компенсатор объема; 3 – главный циркуляционный контур; 4 – парогенератор; 5 – главный циркуляционный насос; 6 – главная запорная задвижка; 7 – гидроемкость; 8 – защитная оболочка; 9 – шахта локализации аварий; 10 – бак запаса борного концентрата; 11 – насос аварийной подпитки; 12 – насос охлаждения активной зоны; 13 – спринклерный насос; 14 – цилиндр высокого давления турбины; 15 – цилиндр низкого давления турбины; 16 – сепаратор-пароперегреватель; 17 – конденсатор турбины; 18 – питательный насос; 19 – генератор; 20 – блочный трансформатор; 21 – циркуляционный насос; 22 – градирня

При сбросе нагретой воды из промышленных предприятий, особенно атомных электростанций, в водные объекты температура воды в них повышается, что приводит к «тепловому загрязнению» окружающей среды. По действующим нормативам температура воды не должна превышать температуру воды водоема больше чем на 3–5 °С.

Однако даже незначительный подогрев воды по сравнению с естественной температурой водного источника способствует возникновению ряда негативных биологических и химических изменений ее качества: ускоряется обмен веществ организмов, которые содержатся в водоеме, увеличивается потребление ими продуктов питания и кислорода из воды, тормозятся процессы самоочищения воды, увеличивается рост сине-зеленых водорослей (цветение воды), повышается испарение с водной поверхности и минерализация воды, усиливаются развитие микро- и макропланктона, меняется цвет и запах воды [2, 3, 4]. Кроме того, при охлаждении циркуляционных вод в градирнях происходит выброс значительного количества тепла и влаги в атмосферу, способствующих образованию низкой облачности, снижению солнечной освещенности, повышению влажности воздуха в холодный период, образованию туманов, гололедицы, которые могут быть насыщенными вредными для окружающей среды соединениями кислотного характера и наносить ущерб почвенному покрову территории, прилегающей к энергетическому предприятию [5, 6, 7].

Аналогичная ситуация свойственна промышленным предприятиям различных отраслей, использующих водные ресурсы в теплообменных технологических циклах, а поэтому проблема использования теплых сбросных вод остается актуальной для любой развитой страны и приобрела важное значение в мире. Ее решением уже несколько десятилетий занимаются ученые ведущих стран мира: США, Японии, стран ЕС, России, Беларуси, а также Украины.

С научных позиций эта проблема имеет комплексный междисциплинарный характер и подлежит всестороннему анализу специалистами различных отраслей с целью усовершенствования технологий промышленного производства, разработки эффективных, ресурсо- и энергосберегающих способов использования (утилизации) сбросного тепла промышленных и энергетических предприятий и применения новейших достижений науки и техники. Сравнительно низкий температурный потенциал значительного количества сбросных теплых вод (20–35 °С) является основным препятствием при использовании сбросного тепла, в частности в промышленных масштабах. Этот тепловой ресурс, как считают ученые, даже имеет «отрицательную» стоимость, поскольку является технологически необходимым и несет в себе негативную эколого-экономическую нагрузку.

Однако ученые и практики уже достаточно давно заметили, что большинство представителей флоры и фауны требуют для своего развития именно такой диапазон температур, который имеют сбросные теплые воды. Вследствие этого на практике появляются возможности научно обосновать и определить такие сферы человеческой производственной деятельности, где применение теплых сбросных вод может дать значительный экологический и социально-экономический эффект.

Среди перспективных путей использования сбросных теплых вод ученые выделяют такие, как жилищно-бытовое теплоснабжение, обогрев животноводческих и тепличных комплексов, аквакультура и рыбное хозяйство, тепловая мелиорация почв [8, 9, 10]. Наиболее перспективным направлением использования низкопотенциального тепла теплообменных вод, как показали разработки ученых разных стран, является его применение в сельском хозяйстве, а именно для нужд растениеводства [9]. Причем наибольший эффект ожидается от комплексного сочетания различных направлений в составе так называемых энергобиологических комплексов (ЭБК), решающих одновременно проблемы промышленности, энергетики, сельского хозяйства, рыбоводства и окружающей среды [10].

ЭБК, как правило, должны включать в себя энергетическое или промышленное предприятие, которое имеет низкотемпературное сбросное тепло, предприятия бассейновой аквакультуры, водоемоохладитель, микробиологическое производство и холодильное хозяйство, тепличное хозяйство, участки земли, которые обогреваются и орошаются теплой водой (тепломелиорированный грунт). Создание ЭБК при энергетических и промышленных предприятиях имеет важный экологический и социально-экономический эффект, проявляющийся в производстве дополнительной продукции, создании дополнительных рабочих мест и кооперации производственных мощностей.

Роль и значение тепловых мелиораций в составе ЭБК как отдельного перспективного направления использования теплых сбросных вод исследовались и изучались учеными разных стран. Технически тепловые мелиорации рассматривались как возможность регулирования водно-теплового режима почвы и приземного слоя воздуха путем проведения поливов или увлажнений теплой водой (дождевание, поверхностное, капельное, подпочвенное, внутрипочвенное или комбинированное орошение) или путем технического обогрева грунта (внутрипочвенное, поверхностное, комбинированное).

27.2. Источники сбросных теплых вод

В качестве потенциального объекта исследования и внедрения научных результатов исследований нами была выбрана электростанция с водохранилищем-охладителем на примере Хмельницкой АЭС, которая в своей производственной деятельности использует водные ресурсы р. Горынь. Рабочая гипотеза исследования заключалась в изучении возможного повышения температуры почвы и приземного слоя воздуха в ранние весенние периоды на 10–15 °С за счет сбросных теплых вод Хмельницкой АЭС, что должно отразится на развитии растений.

В составе Хмельницкой АЭС работает два энергоблока номинальной мощностью 1000 МВт каждый. На данном этапе одним из главных направлений деятельности Хмельницкой АЭС является достройка 3-го и 4-го энергоблоков. При достройке энергоблоков температура охлаждающей воды может вырасти до 25–30 °С уже в марте-апреле, а летом увеличиться до 40 °С. Тепловой ресурс теплообменных вод возрастет еще больше. Своевременной и оправданной является разработка технологий использования сбросной теплоты этих водных ресурсов.

Сбросные теплые воды Хмельницкой АЭС несколько холоднее по сравнению с циркуляционными водами Ровенской АЭС, где используют башенные градирни. Температуры сбросных вод Хмельницкой АЭС на 4–5 °С ниже, что вызывает необходимость исследовать тепловую эффектив-

ность таких вод при поверхностном обогреве почвы. Важно отметить, что температура циркуляционной воды, с учетом ее значительной массы и высокой теплоемкости, остается стабильной (без существенных колебаний) и в ночные часы, наиболее критические для растений. Этот факт придает дополнительные преимущества теплым сбросным водам для использования в тепловых мелиорациях. По фактическим данным, температура сбросных теплых вод на Хмельницкой АЭС в марте колеблется от 18 до 22 °С, в апреле – от 22 до 27 °С, в мае – от 27 до 32 °С (табл. 27.1).

Таблица 27.1

Температура сбросной теплой воды Хмельницкой АЭС в 2006-2008 гг., °С

Год	Место измерения температуры	№ блока	Месяцы			
			II	III	IV	V
2006	На выходе из конденсаторов турбин	1	14,87	17,30	25,74	28,03
		2	14,27	15,86	24,91	28,81
	Отводной канал	-	11,80	14,30	23,60	26,50
	Водохранилище	-	3,90	6,60	15,30	18,90
2007	На выходе из конденсаторов турбин	1	16,64	21,05	26,10	ППР
		2	14,81	19,39	25,13	28,66
	Отводной канал	-	12,80	16,80	21,50	24,20
	Водохранилище	-	5,70	10,40	15,00	19,80
2008	На выходе из конденсаторов турбин	1	17,14	19,97	24,18	30,10
		2	17,81	20,98	24,58	30,18
	Отводной канал	-	11,80	17,00	21,20	26,10
	Водохранилище	-	6,40	10,30	14,70	20,20

27.3. Технология поверхностного обогрева почвы водонаполненными оболочками-рукавами

Проблема снабжения отраслей экономики топливно-энергетическими и тепловыми ресурсами, их рационального, экономного использования приобретает в мире и в Украине с каждым годом все большее значение.

Альтернативой традиционным технологиям получения и использования тепловых ресурсов, как считают специалисты, должны стать технологии использования вторичных энергетических ресурсов, нетрадиционных источников энергии и тепловых отходов промышленного производства. Энерго- и ресурсосбережение в различных отраслях экономики утверждены как главное направление деятельности законодательными и нормативными актами Кабинета Министров Украины, Верховного Совета Украины, указами Президента Украины, в частности законами «О энергосбережении», «Об электроэнергетике», «О комбинированном производстве тепловой и электрической энергии (когенерации) и использовании сбросного потенциала», «Об альтернативных источниках энергии», «Об отходах» и др.

В Национальном университете водного хозяйства и природопользования (НУВХП) была создана и развивается с 80-х годов научная школа тепловых (тепловодных) мелиораций, разработаны технологии подпочвенного и поверхностного обогрева почв и орошения сельскохозяйственных культур теплыми сбросовыми водами, обоснована их технико-экономическая целесообразность.

Основателями тепловодного орошения в НУВХП являются: Е. А. Ярмолинский, Л. А. Егоркина, П. К. Кузьмич, С. В. Ковалев, В. П. Востриков, В. А. Турченко и другие.

Для обогрева локальных участков почвы, а также с целью получения ранней овощной и ягодной продукции профессором В. П. Востриковым и его учениками предложена и исследована новая технология тепловой мелиорации почв путем поверхностного обогрева грядки с помощью водонаполненных гибких оболочек-рукавов [9, 11].

На базе этой технологии предложено создавать специальные гидротехнические системы поверхностного обогрева почв (ГС ПОП) и специальные агрохозяйства для получения ранней овощной и ягодной продукции. В настоящее время доказана термическая и технико-экономическая эффективность такой технологии. Актуальность ее применения обусловлена также непредсказуемыми изменениями природно-климатических условий, наблюдаемых в настоящее время, возможными локальными похолоданиями и необходимостью разработки эффективных мер для отрасли растениеводства, в первую очередь эффективных мер по тепловой мелиорации приземного климата сельскохозяйственных угодий [12, 13].

Обеспечение населения свежей ранней недорогой ягодной и овощной продукцией для Украины является одной из актуальных проблем. Эта проблема решается традиционно созданием теплично-парниковых хозяйств в пригородных зонах. Однако их эффективное функционирование сталкивается сегодня с рядом существенных ограничений. Это, в первую очередь, высокая стоимость энергоресурс-

сов, в частности природного газа, и высокая конкуренция на рынке ранней продукции со стороны стран-импортеров, расположенных в южных регионах: Турции, Болгарии, Венгрии, Португалии, Испании, Италии и даже Китая.

Частичной альтернативой решения этой проблемы для Украины может быть тепловая мелиорация земель активными методами и способами, в том числе с помощью сбросных теплых вод. Наиболее привлекательной для решения этой задачи является технология поверхностного обогрева грунта (путем пропуска теплой воды тонким слоем по поверхности почвы в оболочках-рукавах), которая была частично исследована и проверена нами в Полесье Украины. Эта технология в сочетании с защитой участков почвы пленочными туннельными укрытиями может стать альтернативой получению ранних овощей и ягод в теплицах и парниках, которые для обогрева используют высокотемпературные носители или электроэнергию.

Термические эффекты при тепловой мелиорации почв могут быть обоснованы по величине возможного увеличения температуры почвы и воздуха и возможного за счет этого смещения начала вегетационного периода, пример которого для условий Ровенской области приведен на рисунке 27.2.

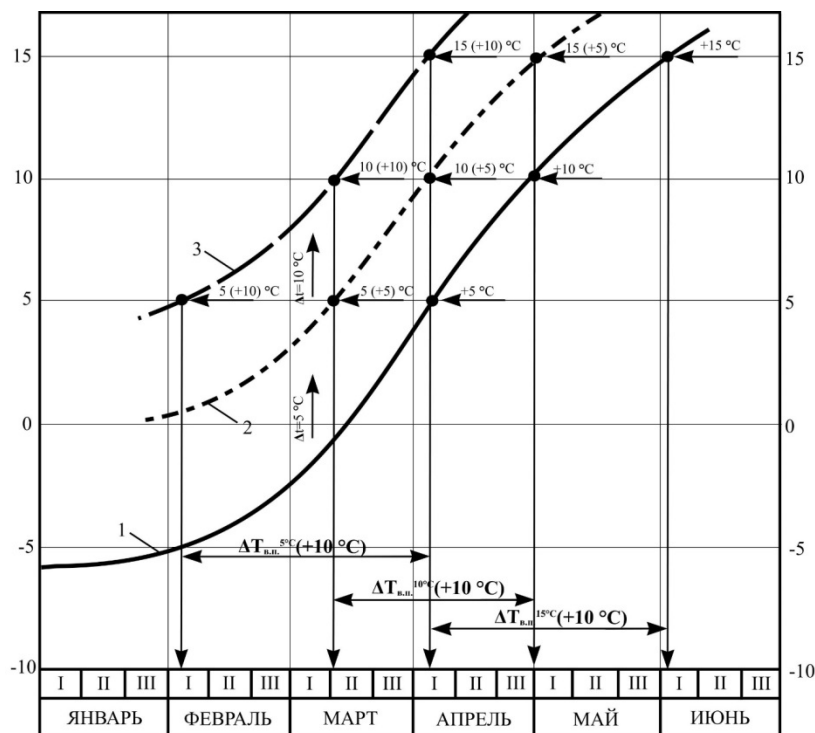


Рис. 27.2. Прогноз тепловой эффективности применения тепловой мелиорации для условий Ровенской области:

1 – среднедекадные многолетние температуры приземного слоя воздуха; 2 – увеличенные температуры воздуха на 5 °C; 3 – увеличенные температуры воздуха на 10 °C



Рис. 28.3. Размещение оболочек-рукавов на почве под пленочным укрытием

Увеличение температуры воздуха (соответственно и почвы) на 10 °C за счет тепловой мелиорации позволило бы сместить начало активной вегетации растений с начала апреля на начало февраля,

то есть на 60 дней, а начало периода с температурами более 15 °С – с начала июня на начало апреля. Преимущество в 40–60 дней является чрезвычайно важным аргументом для растениеводства – выращивания ягод, овощей, цветов и других сельскохозяйственных культур.

В первых исследованиях И. В. Романюка под руководством профессора В. П. Вострикова были использованы так называемые широкие рукава со сквозными отверстиями для растений, которые доказали свою высокую эффективность обогрева почвы и воздуха, однако имеют ряд технических недостатков (рис. 27.3). В частности, это ограниченное использование (могут быть применены только для широкорядных культур), недостаточная эксплуатационная надежность (в случае нарушения герметичности не могут быть оперативно заменены на другие без повреждения растений), незначительная часть площади для размещения сельскохозяйственных культур (не могут быть использованы для узкорядных растений и плотных посадок).

В качестве альтернативы широким оболочкам-рукавам со сквозными отверстиями нами было предложено использовать оболочки-рукава другой формы, например в форме круглых трубопроводов диаметром от 50 до 100 мм, расположенных в междурядьях растений (рис. 27.3). При полном напорном наполнении оболочек-рукавов водой они приобретают в сечении форму трубопровода, а при уменьшении напора – форму эллипса или даже щели.

27.4. Конструкция гидротехнической системы поверхностного обогрева почв на основе оболочек-рукавов

Указанные особенности трубопроводных оболочек-рукавов позволяют управлять их формой, меняя в них рабочий напор воды. Такие оболочки-рукава более привлекательны как нагревательные элементы для поверхностного обогрева почвы. Они более надежны в работе, быстро заменяемы, их можно размещать в междурядьях у растений и обогревать почву и воздух вокруг них. При этом для растений остается достаточно пространства, поскольку их основная вегетативная масса находится выше оболочек. Растения можно высаживать рядами с минимальными расстояниями между ними (20–30 см).

В конструктивном отношении ГС ПОП представляет собой технологически целостную гидротехническую систему, включающую в себя такие отдельные объекты, как устройства-обогреватели в виде водонаполненных оболочек-рукавов, сеть каналов (при необходимости), трубопроводов (магистральных, распределительных, собирающих, сбросных и др.) с гидротехническими сооружениями, насосные станции, регулирующие бассейны, автоматизированное водорегулирующее оборудование и т. п., взаимодействие которых обеспечивает постоянную циркуляцию теплой воды в системе с минимальным потреблением электроэнергии, эффективную теплопередачу от воды и обогревателей в среде «почва – растение – приземный слой воздуха», быстрый нагрев почвы и приземного слоя воздуха и поддержания в них необходимого теплового режима в течение всего периода вегетации растений с целью получения высоких и ранних урожаев сельскохозяйственных культур.

Основным элементом ГС ПОП являются обогреватели, которые предлагается выполнять в виде тонкостенных оболочек-рукавов из гибких, плотных, водонепроницаемых материалов и рекомендуемых нами в виде трубопроводов. Основная задача оболочек-рукавов заключается в постоянной транспортировке теплой воды по поверхности почвы между растениями и нагревании почвы и приземного слоя воздуха. Поэтому обогреватели размещают на строго определенном расстоянии друг от друга и объединяют для повышения эффективности и надежности работы в отдельные блок-секции, а секции – в блок-модули.

Нами рекомендуется (и обоснованно) для обогрева грядки шириной 1 м секцию выполнять из 5 рукавов. При прохождении теплой воды через гибкие оболочки-рукава происходят процессы теплопередачи и рассеивания части тепла в почве и воздухе. В результате температура почвы и приземного слоя воздуха повышается, создаются лучшие условия для развития и роста растений, а вода в системе обогрева частично охлаждается.

Общая принципиальная конструктивная схема ГС ПОП с оболочками-рукавами разработана нами в соответствии со схемами систем поверхностного полива и представлена на рисунке 27.4.

Исходя из небольших напоров, которые использует система, можно утверждать, что она должна быть низконапорной, самотечной системой. Забор теплой воды с канала 1 осуществляется с помощью насосной станции 2 и подается в напорный бассейн 3. Регулятор расхода (водовыпуск) 4 позволяет контролировать поступление воды в магистральный трубопровод 5, который распределяет ее между подводными трубопроводами 6 и распределительными трубопроводами 7 блок-модулей 9. Сеть собирающих 10, отводящих 11 и сбросных трубопроводов (лотков, каналов) 12 осуществляет отвод воды из блок-модулей 9 с блок-секциями 8 из гибких оболочек-рукавов за пределы ГС ПОП.

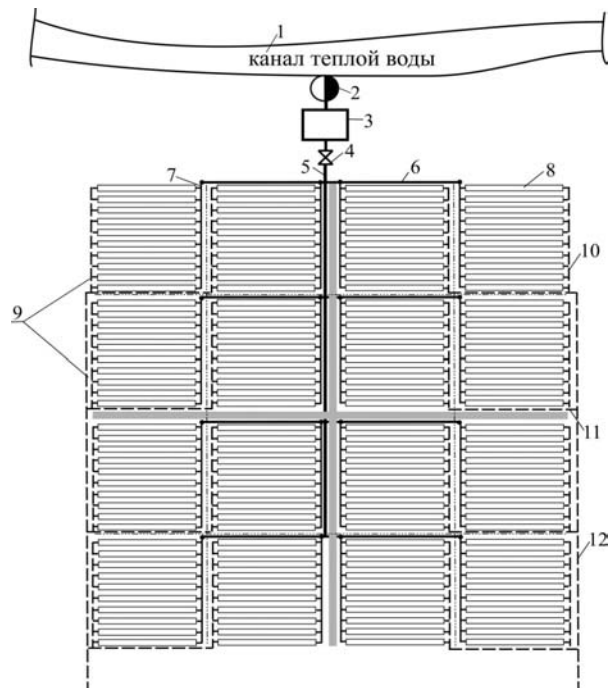


Рис. 27.4. Принципиальная схема ГС ПОП с оболочками-рукавами:

1 – канал теплой воды; 2 – насосная станция; 3 – напорный бассейн; 4 – регулятор расхода; 5 – магистральный трубопровод; 6 – подводящий трубопровод; 7 – распределяющий трубопровод; 8 – блок-секции из оболочек-рукавов; 9 – блок-модули; 10 – собирающий трубопровод; 11 – отводящий трубопровод; 12 – сбросной трубопровод (лоток, канал)

Обогревательный блок-модуль представляет собой систему блок-секций из гибких тонкостенных оболочек, фасонных частей, арматуры и вспомогательных устройств, обеспечивающих автоматизированную работу (подвод и сброс воды) с заданным режимом (расходом, скоростью, температурой воды на входе и выходе блок-модуля) на определенной, ограниченной площади [123]. В свою очередь, блок-секция состоит из нескольких рукавов-оболочек в виде трубопроводов, объединенных вместе распределительным и собирающим коллекторами в единую секцию, подводящей и отводящей сетей, запорной и регулирующей арматуры, средств автоматизации (при необходимости).

Участок почвы (грядка) вместе с оболочками-рукавами с целью эффективного использования тепловой энергии циркулирующей в рукавах воды дополнительно закрывается укрытиями туннельного типа из прозрачных пленок или пластика, а для регулирования водного режима – системой микроорошения или капельного орошения. Схема компоновки блок-секции из оболочек-рукавов представлена на рисунке 27.5.

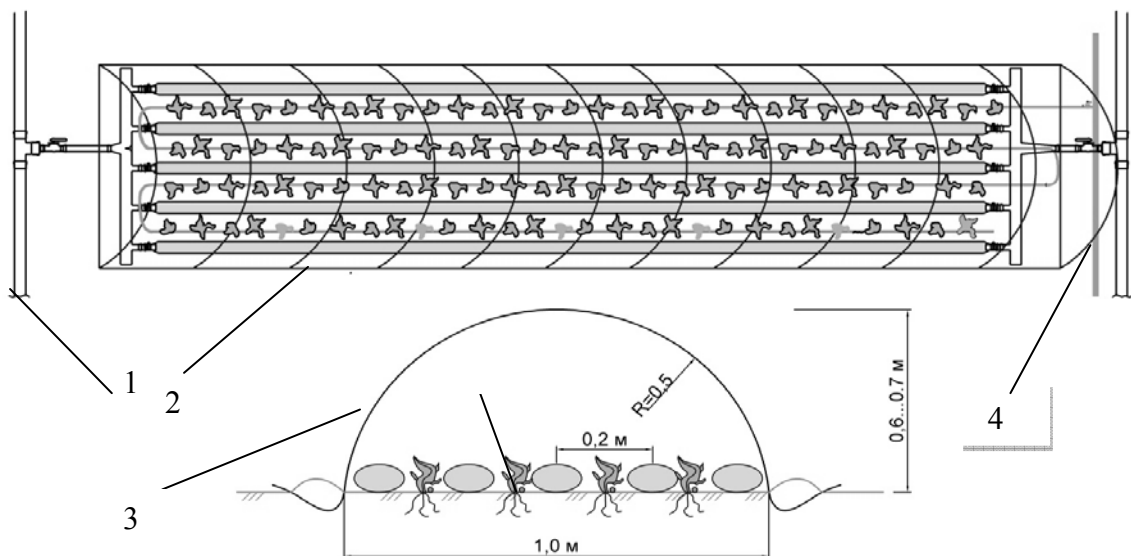


Рис. 27.5. Конструктивная схема блок-секций ГС ПОП с оболочками-рукавами:

1 – система обогрева почвы; 2 – оболочки-рукава; 3 – растения; 4 – система капельного орошения; 5 – туннельное укрытие

27.5. Методика проведения исследований

Особенностью роста растений является их пребывание одновременно в двух очень разных по свойствам средах – почве и воздухе. Верхний, плодородный слой почвы и приземный слой воздуха вместе образуют среду обитания растений. Поэтому методы, способы и технические средства тепловых мелиораций должны быть направлены на всю среду обитания растений – и почву, и воздух. Исследование процессов формирования теплового режима и оценка теплового состояния должны также проводиться для двух сред, все процессы в которых тесно взаимосвязаны.

Натурные исследования позволяют получить фактические данные по формированию водно-теплового режима почвы и приземного слоя воздуха в реальных условиях и тем самым определить более достоверно тепломелиоративную эффективность ПОП и сравнить полученные данные с теоретическими моделями.

Целью ПОП как инженерного тепломелиоративного мероприятия является улучшение теплового режима, в первую очередь, в неблагоприятные периоды. Такими неблагоприятными периодами для растений являются ранневесенние месяцы, когда солнечной радиации уже достаточно для освещения, но недостаточно для нагрева почвы и приземного слоя воздуха. ПОП оболочками-рукавами относится к активным способам воздействия на тепловой режим почвы и приземного слоя воздуха, поэтому от него следует ожидать существенного повышения температуры в среде обитания растений. Главной задачей натурных исследований является установление особенностей и закономерностей его формирования в разных природно-климатических и временных условиях.

Исследованием теплового режима почвы в природных условиях посвящено значительное количество научных работ, в том числе при применении различных тепломелиоративных мероприятий [9, 16]. Так, в работе И. В. Романюка (под руководством профессора В. П. Вострикова) [9] исследовано формирование гидротермического режима почвы весной, в суточном и месячном циклах, установлены его закономерности и особенности при ПОП широкими рукавами-лентами с круглыми отверстиями для растений. Установлены также определенные количественные и качественные показатели оценки влияния обогрева на температурный и водный режим почвы и приземного слоя воздуха. Замена формы оболочки-рукава из единичного широкого на рукава-трубопроводы, расположенные в междурядьях, меняет условия теплообмена и теплопередачи в системе «почва – оболочка – приземный слой воздуха», что не может не отразиться на формировании теплового режима в системе.

С целью исследования этих особенностей нами были проведены натурные исследования работы одной блок-секции ГС ПОП и исследовано влияние ПОП оболочками-трубопроводами на комплекс основных факторов: температурный и водный режимы. Исследования проводили на опытном участке на землях частного фермерского хозяйства в пределах пригородной зоны г. Ровно (Украина).

В натурном эксперименте была использована экспериментальная система поверхностного обогрева почвы, состоящая из рукавов-теплообменников, расположенных на поверхности почвы и объединенных для удобства эксплуатации в секцию с помощью распределительного и собирающего коллекторов (рис. 27.6).

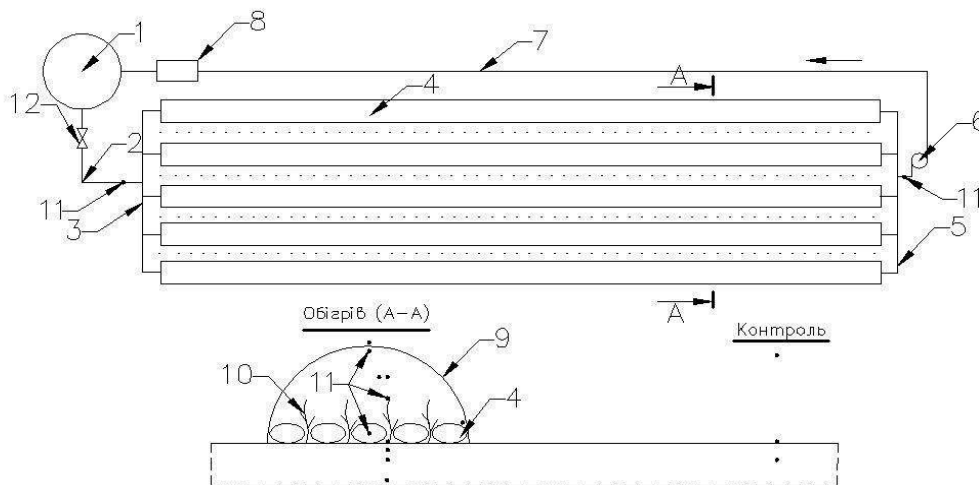


Рис. 27.6. Схема натурального эксперимента с поверхностным обогревом почвы:

1 – резервуар теплой воды; 2 – трубопровод подачи теплоносителя; 3 – распределяющий коллектор; 4 – рукав-теплообменник; 5 – собирающий коллектор; 6 – насос; 7 – транспортирующий трубопровод; 8 – электрический нагреватель; 9 – туннельное укрытие из полиэтиленовой пленки; 10 – растения; 11 – датчики температуры; 12 – задвижка

Рукава-теплообменники были выполнены из полиэтиленовой пленки толщиной 200 мкм и имели диаметр 100 мм при полном напорном наполнении их водой. Циркуляция теплой воды осуществлялась с помощью насоса CDXM/A 90/10, а ее подогрев – электроводонагревателем КЭО-4,5-6/380(220)-Б мощностью 3,0 кВт, конструкция которого позволяет отключать отдельные нагреватели и тем самым подавать в систему обогрева теплую воду нужной температуры.

Температура теплоносителя моделировалась в соответствии с температурным режимом циркуляционных вод Хмельницкой АЭС весной и поддерживалась в определенных пределах с помощью терморегулятора ТК-4 с погрешностью регулирования $\pm 0,1$ °С. В системе обогрева, которая работала полностью в замкнутом цикле, использовали водопроводную воду.

Количество воды, которая циркулировала в системе обогрева, определяли с помощью счетчика воды KB-1,5, относительная погрешность измерений которого составляет ± 2 %, регулирование расхода воды в системе и рукавах выполняли шаровым краном. Измерение объемов прокачанной воды проводили дважды в сутки в – 7 и 19 часов, общий расход воды рассчитывали по измеренным объемам. Потребление электрической энергии, которая тратилась на подогрев воды и работу насоса, фиксировалось электрическим счетчиком ЦЭ6807П, 1-го класса точности с погрешностью измерений $\pm 1,0$ %.

Для обеспечения непрерывности измерений температурных параметров в среде «почва – растение – приземный слой воздуха», увеличения количества проведенных измерений с постоянной высокой частотой была применена специально разработана нами автоматизированная система сбора данных (АССД) (рис. 27.7).

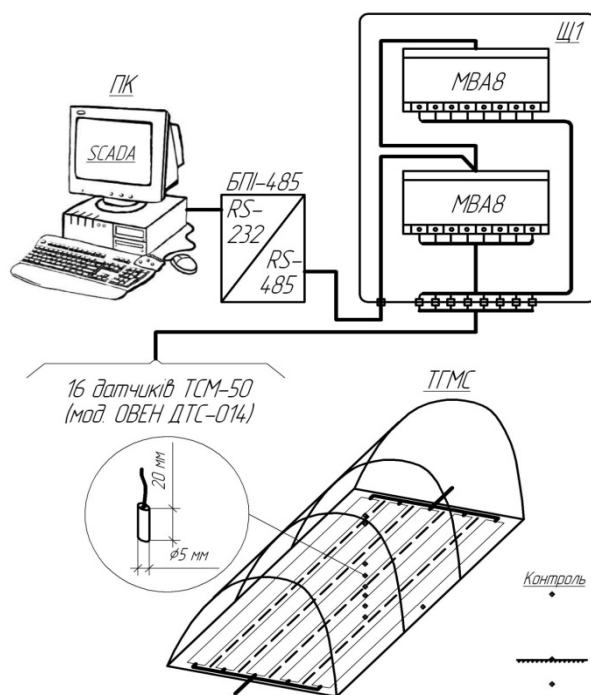


Рис. 27.7. Структурная схема автоматизированной системы сбора данных

Измерение температурных параметров происходило ежеминутно, а их фиксация проводилась на персональном компьютере с интервалом 5 мин. Основой АССД был персональный компьютер (ПК) с установленной на нем SCADA-системой TraceMode 6, к которому по последовательному интерфейсу RS-485 были подключены два модуля ввода аналоговых сигналов MVA8 фирмы «Овен». К каждому модулю MVA8 были подключены 8 датчиков температуры.

Для измерения температуры использовались датчики типа «термометры сопротивления» TCM-50 модели «Овен ДТС014-50М.В3.20/0,2» с диапазоном измерения – 50 + 150 °С. Указанные датчики выбраны с учетом их удобной компактной формы (длина цилиндра 20 мм, диаметр 5 мм), коррозионного латунного корпуса, невысокой стоимости и низкой инерционности, достаточной точности (0,5 °С).

Обработка полученной информации, ее архивирование, отображение осуществляется на ПК исследователя-оператора. Основой АЗСД является SCADA-система TraceMode 6 фирмы AdAstra. Модуль RTM SCADA-системы в автоматическом режиме осуществляет последовательный опрос каналов модулей MVA8 с заданным периодом (1 мин.), предварительную обработку информации (фильтрацию) и архивирование в базу данных на жесткий диск. Емкость архива практически ограничена емкостью жесткого диска. Для удобства обработки данных архивирование осуществляется и во

встроенную в TraceMode базу данных, и в популярную реляционную базу данных Access, встроенную в пакет Microsoft Office.

Интерфейс оператора построен в графическом виде (рис. 27.8).

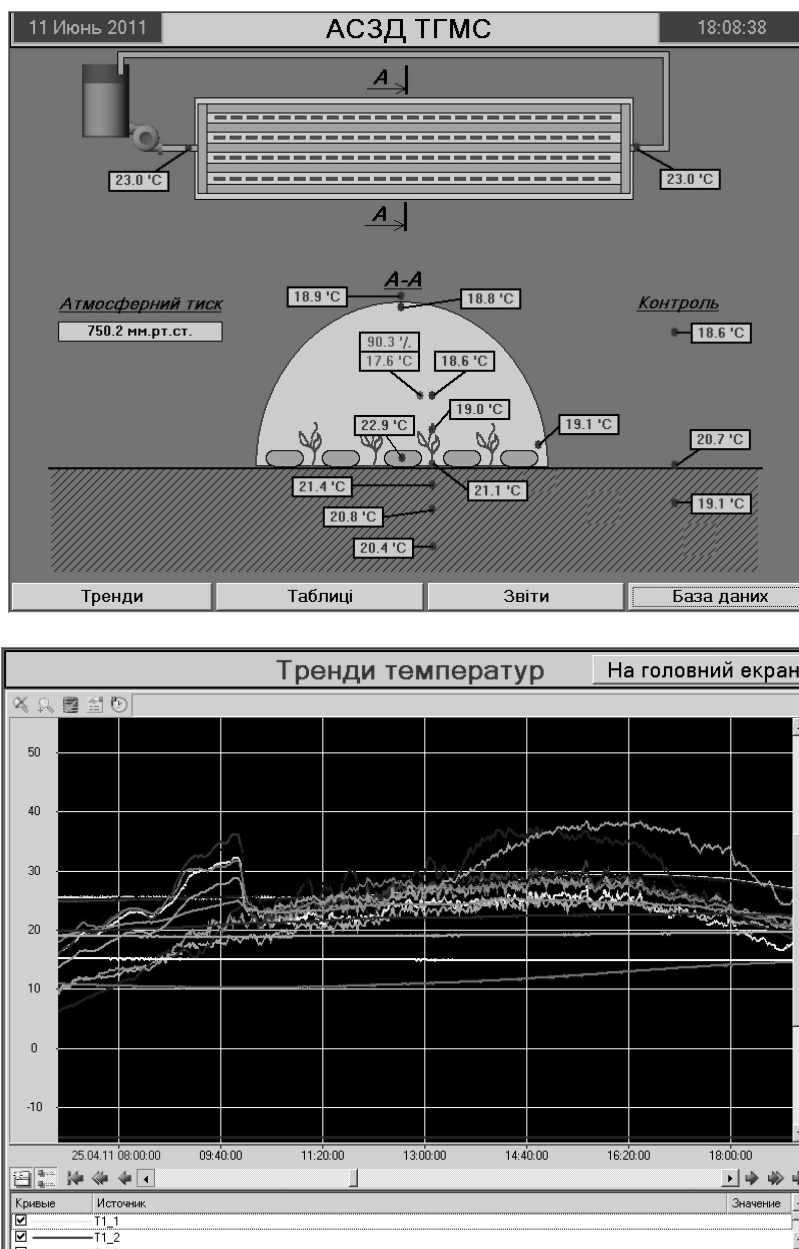


Рис. 27.8. Главное окно оператора и тренды изменения температур почвы и воздуха в системе автоматизированного сбора данных на опытном участке

На основном экране изображена схема системы обогрева и отражены измеряемые данные в соответствующих точках отбора данных. Снизу главного окна расположены кнопки вызова трендов (графиков) изменения температуры. В окне трендов температур отражаются графики измеренной температуры, осуществляется просмотр архивных графиков, возможно изменение масштаба и цветовых схем, отображение только выбранных данных и т. д.

Температуру почвы на участке поверхностного обогрева измеряли на глубине 0, 10, 20 и 40 см, температуру воздуха в укрытии на высотах – 10, 20, 30, 70 см. Дополнительно, в ручном режиме, температуру почвы периодически измеряли термометрами Савинова на глубинах 5, 10, 15, 20 см и ртутными вытяжными термометрами на глубинах 30, 40, 50, 80, 100 см.

Температуру воздуха измеряли также в укрытии у боковой поверхности пленки на высоте 20 см от поверхности почвы и снаружи укрытия над пленкой. На контрольном участке температуру почвы измеряли на глубине 0 и 20 см, а температуру воздуха – на высоте 2 м. Все датчики, которые находились в воздухе, дополнительно затеняли специальными козырьками от попадания прямых солнечных лучей.

27.6. Влияние поверхностного обогрева оболочками-рукавами на температурный режим почвы

Как известно, эффективность любого тепломелиоративного мероприятия характеризуется локальным и средним объемным показателями термического эффекта [17].

Локальный показатель термического эффекта $\Delta T(x,t)$ характеризует изменение (отличие) температуры почвы на глубине x в момент времени t по сравнению с контрольным вариантом:

$$\Delta T(x,t) = T_{ГС ПОГ}(x,t) - T_{КД}(x,t) \quad (27.1)$$

где $T_{ГС ПОГ}(x,t)$ – температура почвы или приземного слоя воздуха в блок-секции ГС ПОП;

$T_{КД}(x,t)$ – температура почвы или приземного слоя воздуха в естественных природных условиях (контрольный участок).

Средний объемный показатель термического эффекта $\Delta T_{сер.}(x,t)$ характеризует изменение температуры почвы, осредненной для некоторого слоя в момент времени t по сравнению с контрольным вариантом и определяется по формуле (27.2):

$$\Delta T_{сер.}(x,t) = T_{сер.}^{ГС ПОГ}(x,t) - T_{сер.}^{КД}(x,t) \quad (27.2)$$

где $T_{сер.}^{ГС ПОГ}(x,t)$ – средняя температура почвы по глубине или приземного слоя воздуха по высоте в блок-секции ГС ПОП;

$T_{сер.}^{КД}(x,t)$ – средняя температура почвы или приземного слоя воздуха в естественных природных условиях (контрольный участок).

Температурный режим почвы при обогреве формируется под влиянием многих факторов, определяющими из которых являются природные условия и условия работы ГС ПОП. Из природных факторов следует отметить солнечную активность, облачность, ветер, осадки, температуру воздуха, перемещение воздушных масс, характер растительного покрова, наличие защитных укрытий и их конструкцию [15, 17, 18].

Из факторов, которые определяет непосредственно система обогрева, нужно указать на конструкцию системы обогрева, параметры оболочек-рукавов (форма, геометрические размеры и материал оболочек) и температуру теплоносителя – воды в системе обогрева.

Уже первые наши исследования термических эффектов при поверхностном обогреве почвы, проведенные в 2009 г. с широким рукавом-оболочкой с эллиптическими отверстиями (рис. 27.2), показали высокую его эффективность (рис. 27.9, 27.10).

Начальная фаза разогрева грунта рукавом изучалась нами с 12.03.2009 в течение двух недель. Измерение всех параметров проводилось дважды в сутки – в 7.00 и 19.00. В качестве контрольного варианта был принят открытый грунт, который не обогревался и находился в естественных условиях.

Результаты исследований показали, что поверхностный обогрев является эффективным техническим способом тепловой мелиорации среды обитания растений, который позволяет быстро и гарантированно повысить температуру и почвы, и приземного слоя воздуха при использовании пленочного укрытия. Уже на третий день работы системы обогрева температура верхнего 20 см слоя почвы повысилась до 10–14 °С. Одновременно за счет теплового потока от поверхности рукава вверх прогрелся приземный слой воздуха до 8–11 °С (рис. 27.10).

На 4–5-й день работы системы обогрева создаются благоприятные температурные условия на уровне 14–16 °С в верхнем 20 см слое почвы и порядка 10–12 °С в приземном слое воздуха, которые стабильно сохраняются даже в пасмурные и морозные дни. Обогрев рукавами, что очень важно, гарантированно поддерживает положительные температуры воздуха ночью и защищает растения от заморозков. При этом в естественных природных условиях температуры почвы и воздуха остаются очень низкими, изменяясь в пределах от –2 до +3 °С, что являлось сдерживающим фактором для раннего выращивания растений, ибо вследствие низких температур почва в естественных природных условиях оставалась не готова к сельскохозяйственному использованию.

Необходимо отметить, что в это время имели место осадки в виде снега и холодного дождя. Снег, выпадая, оставался лежать на поверхности контрольного участка, тогда как на поверхности пленочного укрытия таял и превращался в воду.

В дальнейшем исследования были сосредоточены на изучении работы системы обогрева, выполненной из трубопроводных оболочек-рукавов. Так, в 2011 г. система поверхностного обогрева из оболочек-рукавов была смонтирована и запущена нами в работу 09.03.2011 в 20.00. В этот день ме-

теорологическая ситуация была следующей: днем солнечно и температура воздуха до + 5 °С, на контрольном участке толщина снежного покрова до 15 см, который под воздействием солнечного излучения сверху оттаял, просел и образовалась тонкая твердая корка снега.

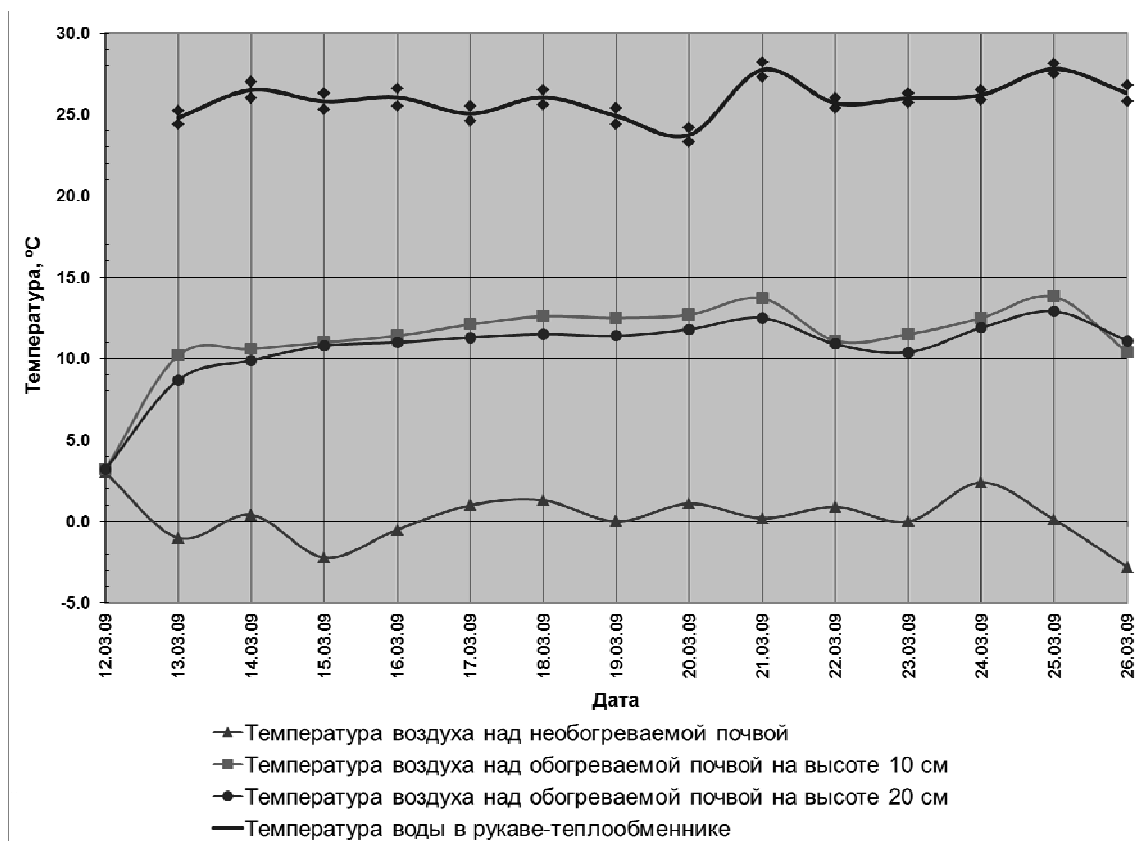


Рис. 27.9. Динамика температур почвы при поверхностном обогреве широким рукавом

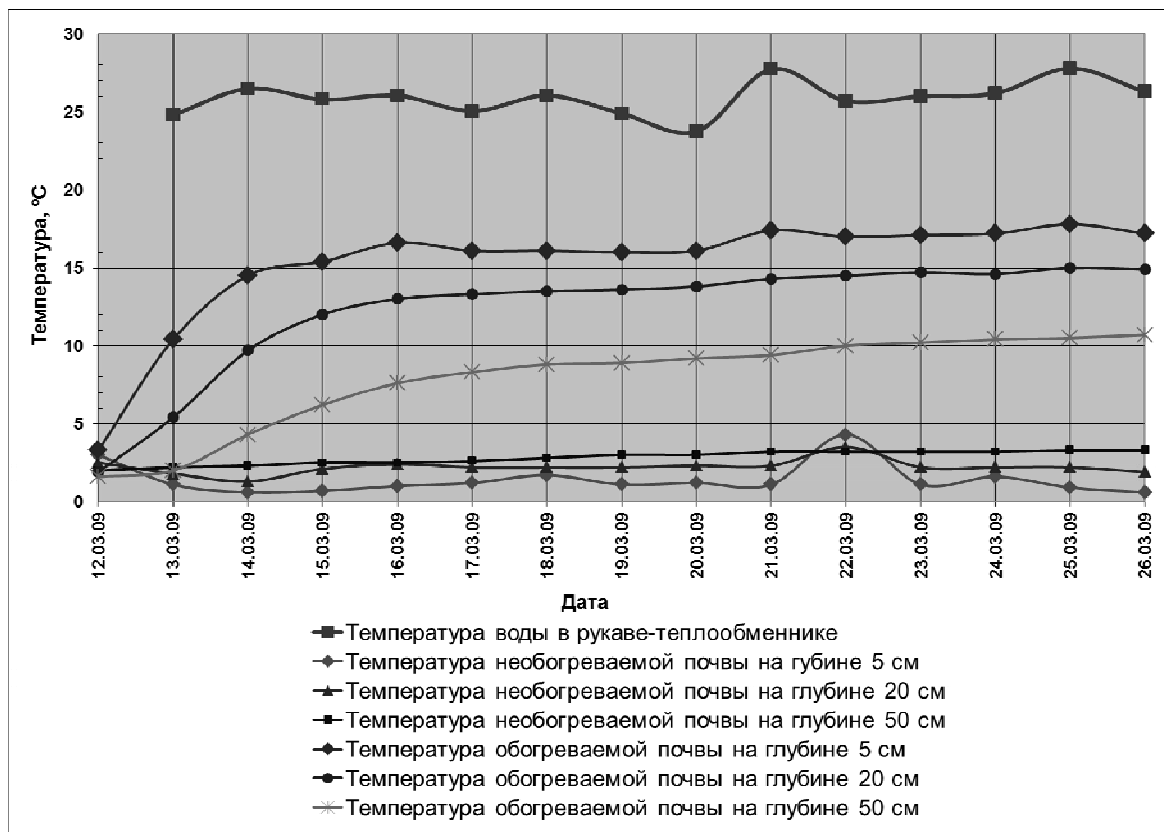


Рис. 27.10. Динамика температур приземного воздуха при поверхностном обогреве широким рукавом

Участок под устройство системы был предварительно расчищен от снега и на замерзшей почве разложены оболочка-рукава диаметром 100 мм, изготовленные из полиэтиленовой пленки толщиной 200 мкм. В это время толщина промерзания почвы составляла до 20 см. Культура-реагент на участке – клубника сорта Клиру второго года выращивания.

Система обогрева работала в течение марта – мая. Анализ динамики температур почвы в условиях обогрева с дополнительной защитой туннельным пленочным укрытием и на контроле показывает, что ПОП при постоянной работе осуществляет значительное положительное влияние на формирование температурных условий в почве, особенно в ранневесенний период – в марте (рис. 27.11).

Общая динамика среднесуточных температур почвы, рассчитанных по среднечасовым их значениям, свидетельствует о постепенном росте величин температур и на контроле, и на обогреве. Однако амплитуды колебаний (смены) этих температур значительно меньше, чем на контроле. Так, на глубине 20 см на контроле температура постепенно росла от 0 °С до + 20 °С. При обогреве, после определенного, короткого времени разогрева грунта от 0 °С до + 12 °С (двое-трие суток) она также росла, но в пределах от + 2 °С до + 20 °С в дальнейшем.

При обогреве почва становится пригодной к посадке или посеву (10 °С) за трие суток (13 марта), а на контроле – только после 20 апреля. Величины + 12 °С почва при обогреве достигает 15 марта, а на контроле – 24 апреля. Величины + 14 °С почва при обогреве достигает 21 марта, а на контроле – лишь 28 апреля всего на короткий промежуток времени и только после 10 мая стабильно, на постоянное время.

Величины + 18 °С почва при обогреве достигает 15 апреля, а на контроле лишь – 30 мая. В слое 0–10 см значения изменений температур почвы при обогреве еще более существенны. Общий ход температур почвы свидетельствует о длительном и высоком термическом эффекте при обогреве почвы, который быстро растет и держится весь период выращивания клубники.

ПОП оболочками-рукавами как тепломелиоративное мероприятие требует оценки эффективности и особенностей изменения температурного режима почвы в разные периоды. Важное значение для оценки температурного режима почвы в условиях обогрева рукавами-оболочками имеет его формирование в месячном и суточном циклах.

Анализ закономерностей гидротермического режима почвы позволяет установить даты перехода температуры на поверхности почвы через важнейшие ее рубежные значения: 0, 5 и 10 °С, определить локальный и объемный термические эффекты при различных погодных условиях, установить функциональные зависимости изменения температуры на разной глубине и др.

Оценку изменений температуры почвы выполняли по значениям среднедекадных температур. Среднедекадные температуры почвы на разных глубинах в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке представлены в таблице 27.2, а термические эффекты – в таблице 27.3.

Таблица 27.2

Среднедекадные температуры почвы на разных глубинах в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке в течение периода исследований (март-май 2011 года), °С

Месяцы	Декады	Температура теплой воды, °С	Глубина, см							
			0		10		20		40	
			ГС ПОП	КУ	ГС ПОП	КУ	ГС ПОП	КУ	ГС ПОП	КУ
март	I	18,7	11,7	-1,7	11,8	1,5	9,0	-1,3	5,4	-4,4
	II	22,0	15,0	1,6	15,1	1,8	12,3	2,0	8,7	-1,1
	III	23,3	18,0	4,6	17,9	4,2	15,7	3,8	10,6	1,6
апрель	I	23,8	19,1	8,5	18,8	8,1	16,9	7,6	12,3	5,3
	II	26,3	20,2	8,5	20,1	8,1	18,1	7,6	13,4	5,1
	III	26,6	21,8	16,1	21,6	14,4	19,7	12,8	15,2	11,7
май	I	25,3	20,8	11,4	20,6	11,4	19,2	11,4	15,7	8,1
	II	25,9	21,9	18,2	21,8	16,8	20,4	15,3	16,7	14,2
	III	23,2	20,8	22,0	21,0	20,4	20,1	18,9	17,6	16,9

Примечание: ГС ПОП – температура на определенной глубине в блок-секции при поверхностном обогреве; КУ – температура на определенной глубине на контрольном участке.

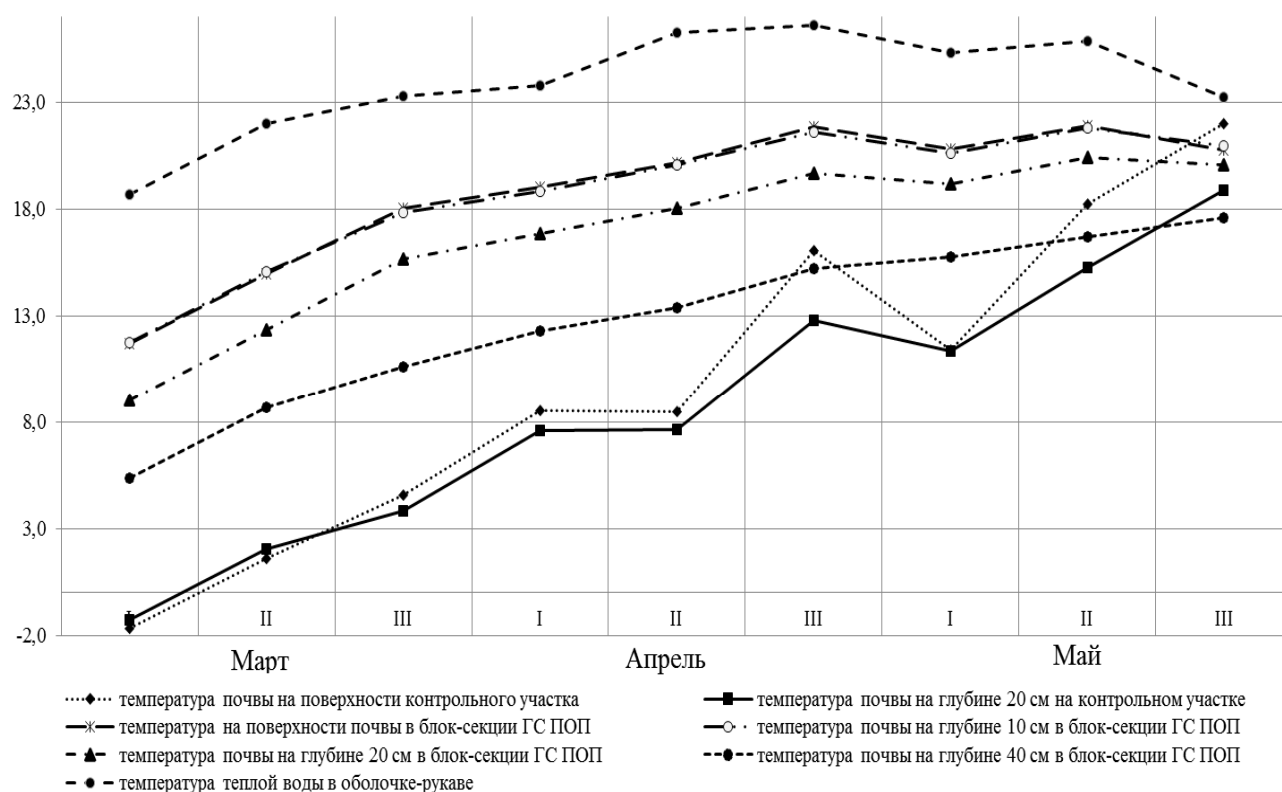


Рис. 27.11. Динамика среднедекадных температур почвы на разных глубинах в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке в течение периода исследований (март-май 2011 г.)

В течение всего периода работы системы поверхностного обогрева наблюдаются стабильные высокие термические эффекты. Их величины в верхнем пахотном слое достигают 12–13 °С. При этом в системе обогрева, как видно из таблицы 27.2, использовалась вода с температурой от 18 до 27 °С, а температуры почвы на глубине 10 см уже во второй декаде марта достигают 15–18 °С. В это время на контрольном участке она достигала всего 2–4 °С.

Самый высокий показатель среднедекадного локального термического эффекта на поверхности почвы величиной 13,4 °С наблюдался в третьей декаде марта. В апреле и мае, в связи с повышением солнечной активности и увеличением естественной температуры грунта, уменьшением разницы между температурой воды и наружного воздуха, термические эффекты постепенно уменьшаются и в конце мая почти исчезают (рис. 27.11).

Таблица 27.3

Среднедекадный локальный тепловой эффект в почве блок-секции ГС ПОП на разной глубине в течение периода исследований (март-май 2011 года), °С

Месяцы	Декады	Температура теплой воды, °С	Глубина, см			
			0	10	20	40
март	I	18,7	13,4	13,3	10,3	9,8
	II	22,0	13,4	13,3	10,3	9,8
	III	23,3	13,4	13,7	11,9	9,0
апрель	I	23,8	10,6	10,7	9,3	7,0
	II	26,3	11,7	12,0	10,5	8,3
	III	26,6	5,7	7,2	6,9	3,5
май	I	25,3	9,4	9,2	7,8	7,6
	II	25,9	3,7	5,0	5,1	2,5
	III	23,2	-1,2	0,6	1,2	0,7

Максимальные тепловые эффекты имеют место в верхних слоях почвы, там, где расположена основная масса корневой системы растений. С глубиной локальный тепловой эффект постепенно уменьшается. В динамике дней весенних месяцев минимальные его значения характерны для третьей декады мая, в частности 0,6 °С – на глубине 0,1 м, 1,2 °С – на глубине 0,2 м и 0,7 °С – на глубине 0,4 м,

когда обогрев был отключен, но его влияние еще сохранялось. В это время потребность в тепловой мелиорации значительно уменьшается, достаточными становятся природные температуры почвы. Объемный послойный термический эффект наибольшие значения имеет для слоя почвы 0...10 см. В первой декаде марта он составляет в среднем 13,4 °С, а максимального значения достигает в конце месяца (13,6 °С), после чего наблюдается его постепенное уменьшение. Для слоя почвы 0...20 см этот показатель в начале марта составляет 12,3 °С, для слоя почвы 0...40 см – 11,7 °С (табл. 27.4).

Таблица 27.4

Среднедекадный объемный послойный термический эффект в почве блок-секции ГС ПОП на разной глубине в течение периода исследований (март-май 2011 г.), °С

Месяцы	Декады	Температура теплой воды, °С	Слой почвы, см		
			0...10	0...20	0...40
март	I	18,7	13,4	12,3	11,7
	II	22,0	13,4	12,3	11,7
	III	23,3	13,6	13,0	12,0
апрель	I	23,8	10,7	10,2	9,4
	II	26,3	11,9	11,4	10,6
	III	26,6	6,5	6,6	5,8
май	I	25,3	9,3	8,8	8,5
	II	25,9	4,4	4,6	4,1
	III	23,2	-0,3	0,2	0,3

Анализ данных показал, что максимальная эффективность ПОП наблюдается в марте-апреле, а с повышением температуры окружающей среды уменьшается и в конце мая наблюдается минимальное влияние (рис. 27.11). Переход температуры на поверхности почвы через 10 °С происходит уже в начале второй декады марта, то есть практически через сутки после запуска системы обогрева, а через 15 °С – на 2 дня позже. В это время на контрольном участке еще имеют место отрицательные температуры, а переход через 5 °С происходит только в третьей декаде марта, а через 10 °С – в середине первой декады апреля (табл. 27.5). Таким образом, полученные нами натурные данные подтвердили предыдущие прогнозные расчеты о высокой эффективности ПОП теплой водой.

Таблица 27.5

Даты достижения величин среднесуточных температур почвы 0, 5, 10, 15, 20 °С при обогреве и на контрольном участке

Глубина почвы, м	Наименование участка	Температура, °С				
		0	5	10	15	20
0	ГС ПОП	С начала работы	10.03	11.03	13.03	21.03
	КУ	11.03	22.03	06.04	24.04	19.05
0,2	ГС ПОП	10.03	11.03	13.03	21.03	23.04
	КУ	10.03	31.03	19.04	29.04	01.06

Важное значение для обоснования агротехнических мероприятий при проведении тепловой мелиорации имеет величина сумм его температур на разной глубине [18]. Суммы активных температур почвы на участке обогрева и на контрольном участке на разной глубине, в том числе суммы активных температур (> 10 °С), приведены в таблице 27.6.

Таблица 27.6

Сумма температур почвы на контрольном участке и на обогреве на разной глубине в течение периода исследований

Наименование участка	Глубина почвы, м	Сумма температур, °С				
		> 0	> 5	> 10	> 15	> 20
ПОП	0	1618	1613	1613	1472	888
	0,1	1596	1595	1588	1444	859
	0,2	1438	1437	1430	1263	653
КУ	0	945	890	736	599	303
	0,2	809	761	553	242	-

Данные таблицы 27.6 свидетельствуют о том, что в верхнем слое почвы 0..0,2 м на участке обогрева сумма температур > 10 °С в течение работы системы составляла 1430...1613 °С, а на контрольном участке 553...736 °С. То есть применение ПОП позволяет более чем вдвое увеличить сумму активных температур почвы в течение весеннего периода при применении низкотемпературной воды в системе обогрева. Особенно важными являются суммы положительных температур в марте.

Положительный эффект обогрева проявляется и в формировании амплитуд среднесуточных температур (табл. 27.7), значения которых при обогреве значительно меньше контрольного участка. Так, на глубине 0,2 м при обогреве амплитуда колебаний температур составила 11,9 °С, а на контроле 19,6 °С.

Таблица 27.7

Амплитуды среднесуточных температур почвы в течение периода исследования, °С

Наименование участка	Глубина почвы, м	Амплитуда температур, °С
ГС ПОП	0	10,6
	0,1	9,9
	0,2	11,9
	0,4	10,7
КУ	0	25,7
	0,2	19,6

С целью установления влияния различных условий окружающей среды (отрицательных температур воздуха, ветра, дождя, искусственного увлажнения и т. д.) на формирование гидротермического режима почвы нами были проведены суточные исследования и обобщены температурные данные.

Наблюдения 10.03.2011

На второй день после запуска системы обогрева метеорологическая ситуация была следующая: утром мороз до -5,2 °С на поверхности почвы контрольного участка, днем – ясная солнечная погода, вода в системе обогрева поддерживается в пределах до 18–20 °С.

Суточный ход температуры почвы на разных глубинах в блок-секции ГС ПОП и при отрицательной температуре на поверхности контрольного участка (10.03.2011) представлен на рисунке 27.12. Среднесуточное значение температуры теплой воды в оболочках-рукавах составляло $T_w = 17,6$ °С.

Температура на поверхности контрольного участка с 7:00 до 9:00 имела максимальные отрицательные значения, но в блок-секции ГС ПОП учитывая тот факт, что обогрев был начат 10 часов назад, наблюдается постепенный рост температуры почвы (табл. 27.8).

Таблица 27.8

Среднечасовые температуры почвы 10.03.2011 года на разных глубинах в блок-секции ГС ПОП и на контроле ($T_w = 17,6$), °С (стадия разогрева грунта)

Часы	Глубина, см								Часы	Глубина, см							
	0		10		20		40			0		10		20		40	
	ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ		ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ
1:00	0,2	2,2	0,1	1,0	0,2	0,2	0,7	0,7	13:00	8,7	0,6	0,1	0,3	0,1	0,0	0,6	0,5
2:00	0,3	-2,9	0,1	-1,3	0,2	0,3	0,7	0,8	14:00	12,1	1,9	0,1	0,9	0,0	-0,1	0,6	0,4
3:00	0,3	-3,5	0,1	-1,6	0,2	0,2	0,7	0,7	15:00	13,2	3,0	0,4	1,4	0,0	-0,1	0,6	0,4
4:00	0,3	-4,1	0,1	1,9	0,2	0,3	0,8	0,8	16:00	12,4	2,5	0,8	1,2	0,1	-0,1	0,6	0,5
5:00	0,4	-4,5	0,1	-2,1	0,2	0,2	0,8	0,8	17:00	10,6	0,1	1,4	0,0	0,1	0,0	0,6	0,5
6:00	0,4	-4,9	0,1	-2,3	0,3	0,3	0,8	0,8	18:00	9,0	0,0	2,0	0,0	0,1	0,0	0,6	0,5
7:00	0,5	-5,1	0,1	-2,4	0,3	0,2	0,8	0,8	19:00	7,8	0,1	2,4	0,1	0,2	0,1	0,7	0,6
8:00	0,6	5,0	0,1	-2,4	0,3	0,2	0,8	0,8	20:00	7,3	0,1	2,6	0,1	0,2	0,1	0,7	0,6
9:00	0,7	-4,5	0,1	-2,1	0,2	0,2	0,8	0,8	21:00	7,5	0,1	2,8	0,1	0,2	0,1	0,7	0,6
10:00	1,1	-3,7	0,0	-1,8	0,2	0,1	0,8	0,7	22:00	7,7	0,1	3,0	0,1	0,2	0,1	0,7	0,6
11:00	1,8	-2,8	0,0	-1,4	0,2	0,1	0,7	0,6	23:00	7,8	0,1	3,3	0,1	0,2	0,1	0,6	0,6
12:00	4,2	-1,1	0,0	0,5	0,2	0,0	0,7	0,6	00:00	8,0	0,1	3,6	0,1	0,2	0,1	0,6	0,6

В частности, на контрольном участке на поверхности почвы температура в 8:00 составляла -5,0 °С, а на участке обогрева выше - 0,6 °С, уже в 24:00 она на поверхности почвы составляла +8,0 °С при обогреве и +0,1 °С на контрольном участке. Значит, ПОП – эффективное инженерное средство защиты сельскохозяйственных растений при понижении температурных условий окружающей среды.

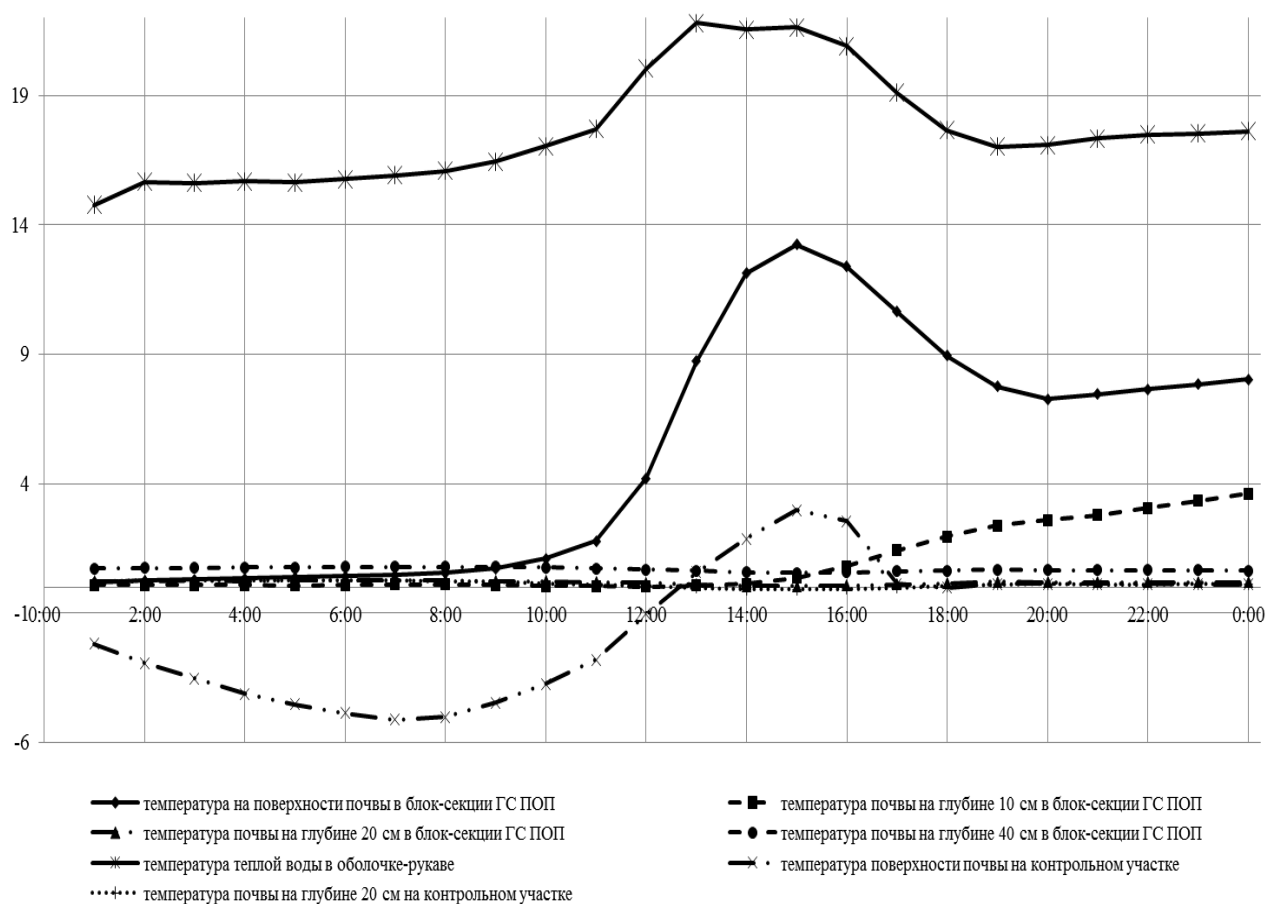


Рис. 27.12. Суточный ход температуры почвы 10.03.2011 на разных глубинах в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке при отрицательных температурах в начальный период работы системы поверхностного обогрева

За 24 часа работы системы обогрева с 1:00 до 24:00 термический эффект на поверхности почвы вырос с 2,4 до 7,9 °С, а на глубине 10 см с 1,1 до 3,5 °С. В то же время на глубине 20 см он вырос только с 0,0 °С до 0,1 °С (табл. 27.9). Итак, на разогрев верхнего замерзшего 10-сантиметрового слоя почвы с 0,0 °С до 10,0 °С нужно полтора-два дня постоянного обогрева.

Таблица 27.9

Среднечасовой локальный термический эффект 10.03.2011 года в почве блок-секции ГС ПОП на разной глубине (Тв = 17,6), °С

Часы	Глубина, см				Часы	Глубина, см			
	0	10	20	40		0	10	20	40
1:00	2,4	1,1	0	0	13:00	8,1	-0,2	0,1	0,1
2:00	3,2	1,4	-0,1	-0,1	14:00	10,2	0,8	0,1	0,2
3:00	3,8	1,7	0	0	15:00	10,2	-1	0,1	0,2
4:00	4,4	2	-0,1	0	16:00	9,9	-0,4	0,2	0,1
5:00	4,9	2,2	0	0	17:00	10,5	1,4	0,1	0,1
6:00	5,3	2,4	0	0	18:00	9	2	0,1	0,1
7:00	5,6	2,5	0,1	0	19:00	7,7	2,3	0,1	0,1
8:00	5,6	2,5	0,1	0	20:00	7,2	2,5	0,1	0,1
9:00	5,2	2,2	0	0	21:00	7,4	2,7	0,1	0,1
10:00	4,8	1,8	0,1	0,1	22:00	7,6	2,9	0,1	0,1
11:00	4,6	1,4	0,1	0,1	23:00	7,7	3,2	0,1	0
12:00	5,3	0,5	0,2	0,1	00:00	7,9	3,5	0,1	0

При отрицательных температурах локальный термический эффект на поверхности почвы и на глубине 0,1 м постепенно рос и достигал максимального значения с 13:00 до 15:00, а на глубинах 20 и 40 см почти не ощущался, ведь в начальный период работы системы необходимо определенное время

для разогрева грунта и проникновения тепла в более глубокие слои. Появление несколько большего термоэффекта в 16–18 часов связано с дополнительным воздействием парникового эффекта в укрытиях под пленкой под действием прямой солнечной радиации. При исчезновении солнца его влияние в виде парникового эффекта под пленкой быстро пропадает.

Важной характеристикой температурного режима почвы является амплитуда колебаний температуры на различной глубине. Амплитуда колебаний температуры почвы на ее поверхности в блок-секции ГС ПОП составляла 13,6 °С, на глубине 0,1 м – 3,7 °С, на глубине 0,2 м – 0,3 °С, на глубине 0,4 м – 0,3 °С, в то же время на поверхности контрольного участка – 8,4 °С, на глубине 0,2 м – 0,4 °С.

Среднечасовой объемный послойный термический эффект представлен в таблице 27.10. Максимальное его значение 10.03.2011 также имеет место в верхнем слое почвы (0...10 см). В среднем за сутки этот эффект составил в слое 0–10 см 4,2 °С, в слое 0–20 см – 2,8 °С и в слое 0–40 см соответственно 2,1 °С.

Таблица 27.10

Среднечасовой объемный послойный термический эффект 10.03.2011 года в почве блок-секции ГС ПОП на разной глубине (Тв = 17,6), °С

Часы	Глубина, см			Часы	Глубина, см		
	0...10	0...20	0...40		0...10	0...20	0...40
1:00	1,8	1,2	0,9	13:00	4,0	2,7	2,0
2:00	2,3	1,5	1,1	14:00	4,7	3,2	2,4
3:00	2,8	1,8	1,4	15:00	4,6	3,1	2,4
4:00	3,2	2,1	1,6	16:00	4,8	3,2	2,5
5:00	3,6	2,4	1,8	17:00	6,0	4,0	3,0
6:00	3,9	2,6	1,9	18:00	5,5	3,7	2,8
7:00	4,1	2,7	2,1	19:00	5,0	3,4	2,6
8:00	4,1	2,7	2,1	20:00	4,9	3,3	2,5
9:00	3,7	2,5	1,9	21:00	5,1	3,4	2,6
10:00	3,3	2,2	1,7	22:00	5,3	3,5	2,7
11:00	3,0	2,0	1,6	23:00	5,5	3,7	2,8
12:00	2,9	2,0	1,5	00:00	5,7	3,8	2,9

Наблюдения 18.03.2011

Повторное изучение особенностей формирования суточных термических эффектов провели через восемь дней. Метеоситуация этих суток: с ночи начал падать снег и образовался снежный покров толщиной 5–6 см. Температура воздуха до –1,1 °С. Днем порывистый ветер, облачность – 70–80 %, время от времени появлялось из-за облаков солнце. Работа системы обогрева стабилизировалась, температура воды поддерживалась на уровне 20 °С. Динамика температур почвы представлена на рисунках 27.13 и в таблице 27.11, а величины термических эффектов – в таблицах 27.12 и 27.13.

Таблица 27.11

Среднечасовые температуры почвы 18.03.2011 на разных глубинах в почве блок-секции ГС ПОП и на контроле (Тв = 20), °С

Часы	Глубина, см								Часы	Глубина, см							
	0		10		20		40			0		10		20		40	
	ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ		ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ	ПОП	КУ
1:00	12,6	0,2	14,1	1,0	12,5	2,1	8,1	6,6	13:00	17,1	0,2	14,7	0,6	12,7	1,4	8,1	6,0
2:00	12,1	0,2	14,0	0,9	12,5	2,0	8,1	6,5	14:00	17,3	0,1	15,1	0,6	12,8	1,4	8,1	6,1
3:00	11,8	0,2	13,8	0,9	12,5	2,0	8,1	6,3	15:00	16,8	0,1	15,4	0,6	12,8	1,4	8,1	6,1
4:00	12,1	0,2	13,7	0,8	12,4	1,9	8,1	6,2	16:00	16,2	0,1	15,4	0,6	12,9	1,4	8,1	6,1
5:00	12,0	0,2	13,6	0,8	12,4	1,8	8,1	6,1	17:00	15,4	0,2	15,3	0,6	12,8	1,4	8,1	6,1
6:00	12,0	0,3	13,5	0,8	12,6	1,8	8,1	6,2	18:00	14,6	0,2	15,1	0,6	12,8	1,4	8,2	6,0
7:00	11,9	0,3	13,4	0,7	12,4	1,7	8,2	5,9	19:00	13,9	0,2	14,9	0,6	12,7	1,4	8,2	5,9
8:00	12,2	0,3	13,4	0,7	12,4	1,7	8,2	5,9	20:00	13,6	0,2	14,6	0,6	12,7	1,3	8,2	5,8
9:00	12,5	0,2	13,4	0,7	12,4	1,6	8,2	5,8	21:00	13,3	0,2	14,4	0,6	12,6	1,3	8,2	5,7
10:00	13,8	0,2	13,6	0,7	12,4	1,6	8,2	5,8	22:00	13,1	0,3	14,3	0,5	12,6	1,3	8,2	5,7
11:00	15,0	0,4	13,8	0,6	12,5	1,5	8,2	5,9	23:00	13,0	0,3	14,1	0,5	12,5	1,3	8,2	5,6
12:00	16,2	0,3	14,3	0,6	12,6	1,5	8,1	5,9	00:00	13,0	0,3	14,1	0,5	12,5	1,3	8,3	5,6

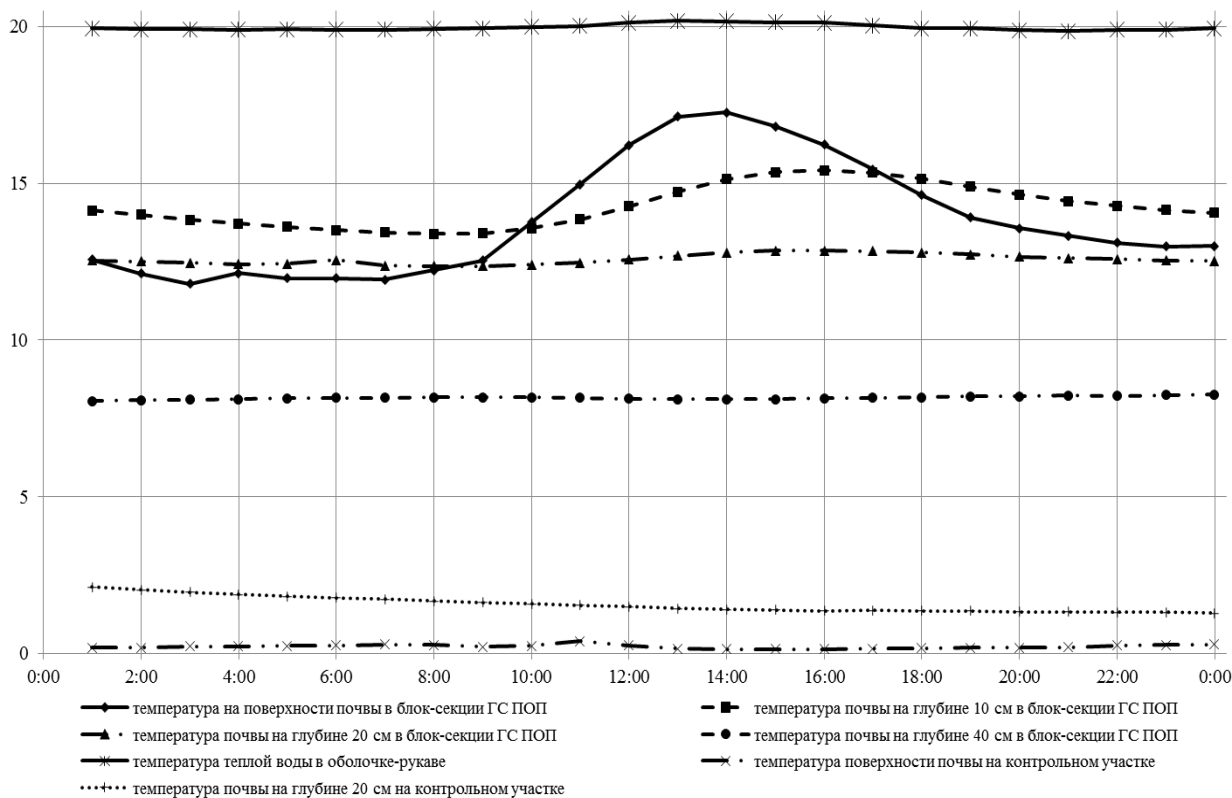


Рис. 27.13. Суточный ход температуры почвы 18.03.2011 на разных глубинах в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке при самой низкой среднесуточной температуре на поверхности контрольного участка ($T_{в} = 20,0 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Данные измерений показали, что температура на поверхности почвы обогреваемого участка составляла $11,9\text{--}17,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, а на контроле не превышала $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$. На глубине 10 см при обогреве температура изменялась от $13,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ в ранние утренние часы до $15,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ днем, в то время как на контроле она не превышала $0,7\text{--}0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$. И только на глубине 40 см контрольный участок имел температуру почвы порядка $6 \text{ } ^\circ\text{C}$, а на обогреве почва уже к этому времени прогрелась до $8 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Амплитуда колебаний температуры на поверхности почвы в блок-секции ГС ПОП составляла $6,1 \text{ } ^\circ\text{C}$, на глубине 0,1 м - $2,1 \text{ } ^\circ\text{C}$, на глубине 0,2 м - $1,4 \text{ } ^\circ\text{C}$, на глубине 0,4 м - $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, в то же время на поверхности контрольного участка - $0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$, а на глубине 0,2 м - $0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$. Температура почвы при обогреве на глубине 10 см в утренние часы составляла $13,4\text{--}13,6 \text{ } ^\circ\text{C}$, на контроле $0,2\text{--}0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, в вечерние часы $14,6\text{--}15,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $0,2\text{--}0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ соответственно. Эффект стабильно достигал на этой глубине $12,7\text{--}17,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (табл. 28.12).

Таблица 28.12

Среднечасовой локальный термический эффект 18.03.2011 года в почве блок-секции ГС ПОП на разной глубине ($T_{в} = 20,0$), $^\circ\text{C}$

Часы	Глубина, см				Часы	Глубина, см			
	0	10	20	40		0	10	20	40
1:00	12,4	13,1	10,4	1,5	13:00	16,9	14,1	11,3	2,1
2:00	11,9	13,1	10,5	1,6	14:00	17,2	14,5	11,4	2,0
3:00	11,6	12,9	10,5	1,8	15:00	16,7	14,8	11,4	2,0
4:00	11,9	12,9	10,5	1,9	16:00	16,1	14,8	11,5	2,0
5:00	11,8	12,8	10,6	2,0	17:00	15,2	14,7	11,4	2,0
6:00	11,7	12,7	10,8	1,9	18:00	14,4	14,5	11,4	2,2
7:00	11,6	12,7	10,7	2,3	19:00	13,7	14,3	11,3	2,3
8:00	11,9	12,7	10,7	2,3	20:00	13,4	14	11,4	2,4
9:00	12,3	12,7	10,8	2,4	21:00	13,1	13,8	11,3	2,5
10:00	13,6	12,9	10,8	2,4	22:00	12,8	13,8	11,3	2,5
11:00	14,6	13,2	11,0	2,3	23:00	12,7	13,6	11,2	2,6
12:00	15,9	13,7	11,1	2,2	00:00	12,7	13,6	11,2	2,7

По данным В. П. Вострикова и И. В. Романюка [9], которые были получены для условий Западного Полесья Украины при ПОП широкими рукавами-лентами и дополнительной защите пленочными укрытиями тоннельного типа, среднесуточный локальный тепловой эффект 28.03.2004 на поверхности участка обогрева составлял 10,7 °С, на глубине 10 см – 6,3 °С, на глубине 20 см – 6,0 °С, на глубине 40 см – 3,3 °С (температура теплой воды составляла 27,8 °С).

ПОП с 5-ю оболочками-рукавами диаметром 100 мм при дополнительной защите пленочным укрытием позволил получить 28.03.2011 несколько лучшие среднесуточные локальные термические эффекты на поверхности почвы – 14,3 °С, на глубине 10 см – 11,2 °С, на глубине 20 см – 12,0 °С, на глубине 40 см – 3,3 °С (температура теплой воды – 22,0 °С). Как видим, ПОП оболочками-рукавами, с точки зрения создания достаточных термических эффектов в почве, оказался более рациональным средством тепловой мелиорации.

Таблица 27.13

Среднечасовой объемный послойный термический эффект 18.03.2011 в почве блок-секции ГС ПОП на разной глубине (Тв = 20,0), °С

Часы	Глубина, см			Часы	Глубина, см		
	0 ... 10	0 ... 20	0 ... 40		0 ... 10	0 ... 20	0 ... 40
1:00	12,8	12,0	9,4	13:00	15,5	14,1	11,1
2:00	12,5	11,8	9,3	14:00	15,9	14,4	11,3
3:00	12,3	11,7	9,2	15:00	15,8	14,3	11,2
4:00	12,4	11,8	9,3	16:00	15,5	14,1	11,1
5:00	12,3	11,7	9,3	17:00	15,0	13,8	10,8
6:00	12,2	11,7	9,3	18:00	14,5	13,4	10,6
7:00	12,2	11,7	9,3	19:00	14,0	13,1	10,4
8:00	12,3	11,8	9,4	20:00	13,7	12,9	10,3
9:00	12,5	11,9	9,6	21:00	13,5	12,7	10,2
10:00	13,3	12,4	9,9	22:00	13,3	12,6	10,1
11:00	13,9	12,9	10,3	23:00	13,2	12,5	10,0
12:00	14,8	13,6	10,7	00:00	13,2	12,5	10,1

27.7. Влияние поверхностного обогрева оболочками-рукавами на температурный режим приземного слоя воздуха

Блок-секции ГС ПОП представляют собой элементы системы в виде грядки шириной 1,0 м и длиной 20–30 м, которые дополнительно защищаются туннельными укрытиями из прозрачных материалов – пленок. Грядки обогреваются сетью оболочек-трубопроводов, максимально из 5 штук.

Влияние ПОП рукавами-оболочками в блок-секциях ГС, в первую очередь, отражается на повышении температур приземного слоя воздуха. Ход среднесуточных температур воздуха на рисунке 27.14 показывает, что в общем он имеет одинаковую тенденцию с ходом температуры почвы от определенных минимальных значений в начале марта до максимальных значений в конце мая. При этом динамичность изменения температур воздуха значительно выше, чем почвы, что отражается через амплитуды и частоты их колебаний. Температура воздуха при обогреве по сравнению с контролем постоянно выше. Это превышение составляет до 10–12 °С в начале марта (при низких температурах внешней среды) и уменьшается до 4–6 °С в мае [19].

Ход температур воздуха в 2011 г. показывает, что на контроле они росли от –2 °С до +21 °С на высоте 2,0 м, на обогреве они росли от 10 °С до +21 °С на высоте 0,2 м.

Как видно из таблицы 27.14, на разных высотах сумма активных температур накапливается по-разному, но вместе с тем превышает аналогичный показатель на контрольном участке в 2–3 раза.

Таблица 27.14

Сумма активных температур воздуха на контрольном участке и на обогреве на разной высоте в течение периода исследований

Наименование участка	Высота, м	Сумма температур, °С				
		□0	□ 5	□ 10	□ 15	□ 20
ПОП	0,2	-	1531	1521	1339	897
	0,3	-	1504	1484	1288	590
	0,7	-	1462	1403	1211	478
КУ	2,0	917	876	682	453	198

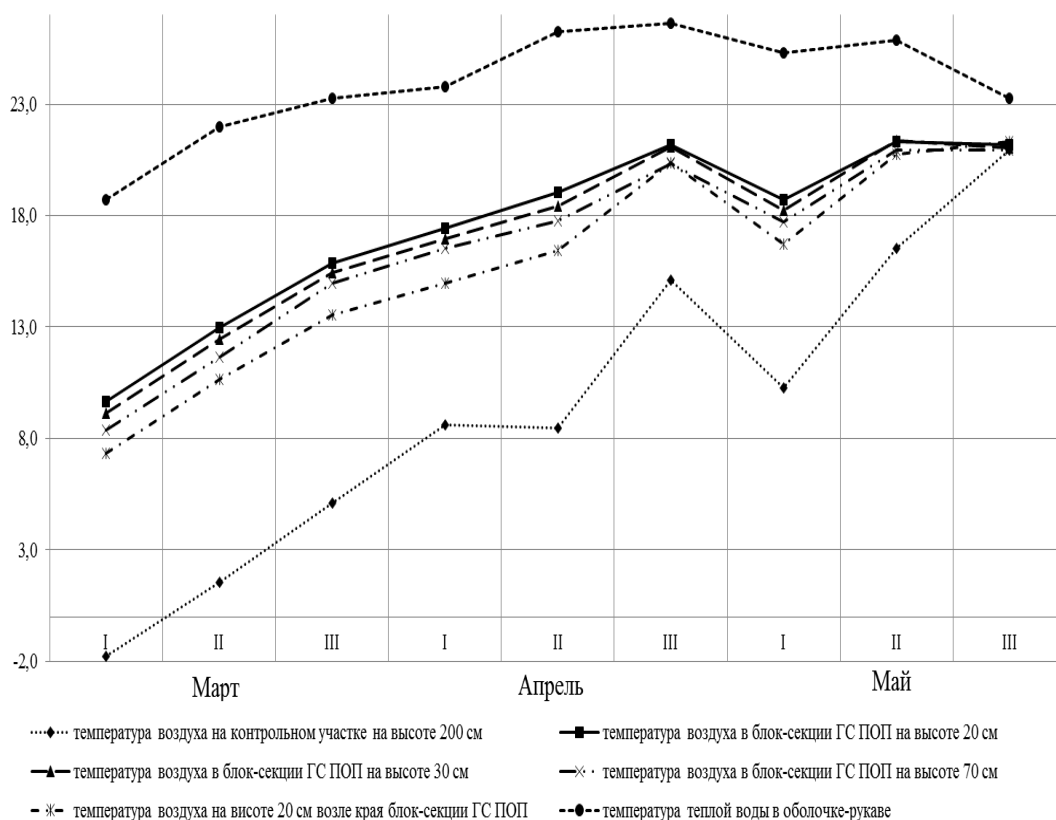


Рис. 27.14. Динамика среднедекадных температур воздуха на разной высоте в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке в течение периода исследований (март-май 2011 г.)

Положительный эффект обогрева проявляется также в уменьшении амплитуды среднесуточных температур по сравнению с участком, который не обогревался (табл. 27.15), что связано, очевидно, с сильным охлаждением почвы на контроле в ночные периоды.

Таблица 27.15

Амплитуды среднесуточных температур воздуха в течение периода исследования, °С

Наименование участка	Высота, м	Амплитуда температур, °С
ПОП	0,2	13,4
	0,3	13,9
	0,7	14,1
КУ	2,0	24,5

При обогреве и защите пленочным укрытием уменьшаются перепады (амплитуды) среднедекадной температуры воздуха, что можно отметить как положительный эффект. Несколько большими являются температуры воздуха на высоте 20–30 см, чем на высоте 70 см, что объясняется расположением рукавов-оболочек на поверхности почвы.

Важное значение для оценки положительной роли обогрева рукавами-оболочками имеет изучение закономерностей формирования температурного режима приземного слоя воздуха в месячном и суточном циклах, ведь проявления негативных метеорологических факторов (заморозки, резкие перепады температур и др.) в первую очередь имеют место в воздухе и впоследствии проникают в почву. Среднедекадные температуры воздуха в блок-секции ГС ПОП на разной высоте и на контрольном участке представлены в таблице 27.16.

Из таблицы 27.16 видно, что по сравнению с температурой приземного слоя воздуха на контрольном участке температуры воздуха при обогреве на разной высоте, даже в первых декадах марта, находятся в пределах 8–12 °С, что является достаточным для восстановления биологических процессов у растений.

Среднедекадный термический эффект при обогреве оболочками-рукавами представлен в таблице 27.17. Из таблицы 27.17 видно, что в приземном слое воздуха на разной высоте термические эффекты являются почти одинаковыми по величине, и с увеличением интенсивности солнечной ра-

диации их величина растет за счет парникового эффекта. Соответственно в конце мая при полном проветривании туннелей, за исключением периодов резкого понижения температуры в ночное время, когда туннели закрыты, температурные условия участка обогрева и контрольного участка выравниваются.

Таблица 27.16

Среднедекадные температуры приземного слоя воздуха на разной высоте в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке на высоте 200 см в течение периода наблюдений, °С

Месяцы	Декады	Температура теплой воды, °С	Высота, см			
			ПОП			КУ
			20	30	70	
Март	I	18,7	9,7	9,1	8,4	-1,8
	II	22,0	13,0	12,4	11,7	1,5
	III	23,3	15,9	15,5	14,9	5,1
Апрель	I	23,8	17,4	17,0	16,5	8,6
	II	26,3	19,1	18,4	17,8	8,5
	III	26,6	21,2	21,1	20,3	15,1
Май	I	25,3	18,7	18,2	17,7	10,3
	II	25,9	21,3	21,4	21,0	16,5
	III	23,2	21,2	21,1	21,0	20,9

Примечание: ПОП – температура на определенной высоте в блок-секции при обогреве почвы; КУ – температура на высоте 200 см на контрольном участке.

Таблица 27.17

Среднедекадный локальный тепловой эффект в воздухе блок-секции ГС ПОП на разной высоте в течение периода исследований (март-май 2011 г.), °С

Месяцы	Декады	Температура теплой воды, °С	Высота, см		
			20	30	70
Март	I	18,7	11,5	10,9	10,2
	II	22,0	11,5	10,9	10,2
	III	23,3	10,8	10,4	9,8
Апрель	I	23,8	8,8	8,4	7,9
	II	26,3	10,6	9,9	9,3
	III	26,6	6,1	6,0	5,2
Май	I	25,3	8,4	7,9	7,4
	II	25,9	4,8	4,9	4,5
	III	23,2	0,3	0,2	0,1

Проанализируем термические эффекты в воздухе для отдельных суточных периодов с различными метеорологическими условиями. Данные за период начального разогрева грунта (10 марта 2011 г.) приведены на рисунке 27.15 и в таблицах 27.18, 27.19. Для этих суток характерно начало работы системы обогрева при отрицательных температурах в естественных условиях в ночные часы и повышении их в дневные часы за счет солнечной радиации.

Уже на вторые сутки обогрева в воздухе устанавливается стабильный тепловой эффект, который в утренние часы на высоте 0,2 м составляет 11,3...11,8 °С, а в дневные достигает 14,5 °С. На величину термических эффектов в воздухе влияет облачность, которая значительно уменьшает прямую солнечную радиацию. Важными являются гарантированные высокие термические эффекты в воздухе в ночные часы при полном отсутствии солнечной радиации.

Амплитуда колебаний температуры воздуха на разной высоте в блок-секции ГС ПОП: на высоте 0,2 м – 19,9 °С, на высоте 0,3 м – 20,3 °С, на высоте 0,7 м – 20,4 °С, в то же время на высоте 2,0 м на контрольном участке – 16,6 °С. Очевидно, что большие амплитуды температуры воздуха при обогреве связаны с дополнительным парниковым эффектом под пленочным укрытием при воздействии прямого солнечного излучения в малооблачные дни. Величины среднечасовых температур воздуха, термических эффектов 18.03.2011 приведены в таблицах 27.20, 27.21 и на рисунке 27.16.

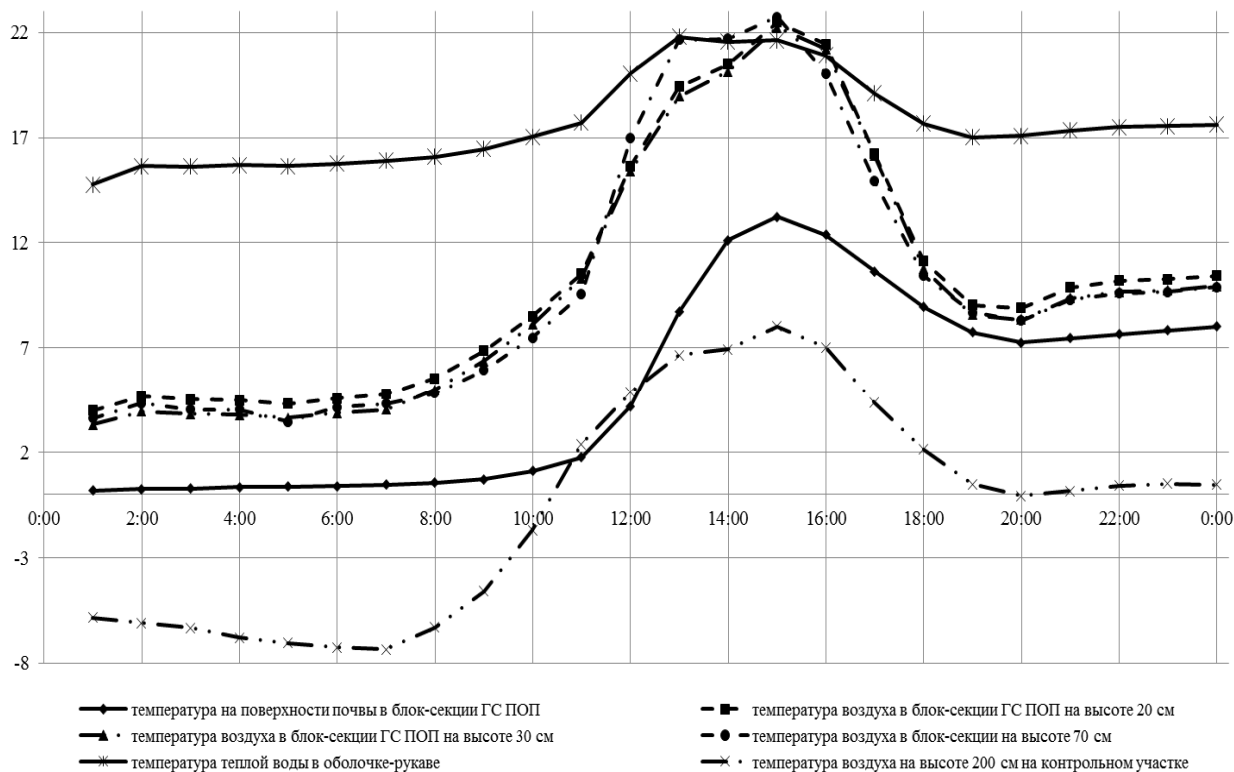


Рис. 27.15. Суточный ход температуры воздуха 10.03.2011 на разных высотах в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке при отрицательных температурах в начальный период работы системы поверхностного обогрева $T_b = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Таблица 27.18

Среднечасовые температуры приземного слоя воздуха 10.03.2011 на разной высоте в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке на высоте 150 см ($T_b = 17,6$), $^\circ\text{C}$

Часы	Высота, см				Часы	Высота, см			
	ПОП			КУ		ПОП			КУ
	20	30	70	150		20	30	70	150
1:00	4,0	3,3	3,6	-5,8	13:00	19,4	19,0	21,7	6,7
2:00	4,7	3,9	4,3	-6,1	14:00	20,5	20,1	21,7	6,9
3:00	4,5	3,8	4,0	-6,3	15:00	22,5	22,2	22,7	8,0
4:00	4,5	3,8	4,0	-6,8	16:00	21,4	21,2	20,0	7,0
5:00	4,3	3,7	3,4	7,0	17:00	16,2	16,1	14,9	4,4
6:00	4,6	3,9	4,2	-7,2	18:00	11,1	10,8	10,4	2,1
7:00	4,8	4,0	4,3	7,3	19:00	9,0	8,6	8,7	0,5
8:00	5,5	5,0	4,8	-6,3	20:00	8,9	8,3	8,3	-0,1
9:00	6,9	6,4	5,9	4,6	21:00	9,9	9,4	9,3	0,2
10:00	8,5	8,1	7,5	-1,7	22:00	10,2	9,7	9,6	0,4
11:00	10,5	10,3	9,6	2,4	23:00	10,3	9,7	9,7	0,5
12:00	15,6	15,4	17,0	4,9	00:00	10,4	9,9	9,9	0,5

Амплитуда колебаний температуры воздуха на разной высоте в блок-секции ПОП: на высоте 0,2 м – 8,7 $^\circ\text{C}$, на высоте 0,3 м – 9,4 $^\circ\text{C}$, на высоте 0,7 м – 10,0 $^\circ\text{C}$, в то же время на высоте 1,5 м на контрольном участке – 4,9 $^\circ\text{C}$. Они свидетельствуют о том, что в течение суток в приземном слое воздуха под пленочным укрытием при обогреве сохраняются высокие термические эффекты. В ночные часы на высоте 0,2 м они составляют 9,3...9,6 $^\circ\text{C}$ и уменьшаются до 8,5...8,8 $^\circ\text{C}$ на высоте 0,3 м. В дневные часы эффекты увеличиваются до 12,4...12,9 $^\circ\text{C}$ и 11,9–12,8 $^\circ\text{C}$ соответственно.

По результатам наблюдений за температурным режимом почвы и приземного слоя воздуха были получены зависимости для определения температуры почвы на разной глубине в блок-секции ГС

ПОП в зависимости от температуры поверхности почвы на необогреваемом (контрольном) участке, температуры воздуха на контрольном участке на высоте 2,0 м и температуры теплой воды, протекающей в оболочках-рукавах блок-секции СПОП.

Таблица 27.19

Среднечасовой локальный тепловой эффект 10.03.2011 в воздухе блок-секции ГС ПОП на разной высоте ($T_B = 17,6$), °С

Часы	Высота, см			Часы	Высота, см		
	20	30	70		20	30	70
1:00	9,8	9,1	9,4	13:00	12,7	12,3	15,0
2:00	10,8	10,0	10,4	14:00	13,6	13,2	14,8
3:00	10,8	10,1	10,3	15:00	14,5	14,2	14,7
4:00	11,3	10,6	10,8	16:00	14,4	14,2	13,0
5:00	11,3	10,7	10,4	17:00	11,8	11,7	10,5
6:00	11,8	11,1	11,4	18:00	9,0	8,7	8,3
7:00	12,1	11,3	11,6	19:00	8,5	8,1	8,2
8:00	11,8	11,3	11,1	20:00	9,0	8,4	8,4
9:00	11,5	11,0	10,5	21:00	9,7	9,2	9,1
10:00	10,2	9,8	9,2	22:00	9,8	9,3	9,2
11:00	8,1	7,9	7,2	23:00	9,8	9,2	9,2
12:00	10,7	10,5	12,1	00:00	9,9	9,4	9,4

Таблица 27.20

Среднечасовые температуры приземного слоя воздуха 18.03.2011 на разной высоте в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке на высоте 200 см ($T_B = 20,0$), °С

Часы	Высота, см				Часы	Высота, см			
	ПОП			КУ		ПОП			КУ
	20	30	70	150		20	30	70	150
1:00	9,5	8,9	8,1	0,1	13:00	15,7	15,6	15,2	2,8
2:00	8,7	7,9	6,9	-0,6	14:00	15,4	15,4	14,6	2,9
3:00	8,7	7,9	6,8	-0,7	15:00	14,5	14,3	13,4	2,4
4:00	8,9	8,1	7,4	-0,7	16:00	13,7	13,4	12,6	2,2
5:00	8,6	7,8	6,9	-0,9	17:00	12,5	12,1	11,3	1,7
6:00	8,7	7,9	7,1	1,0	18:00	11,1	10,6	10,0	1,0
7:00	8,7	7,9	7,1	1,0	19:00	10,7	10,0	9,4	0,7
8:00	9,5	8,8	7,9	-0,7	20:00	10,6	9,9	9,3	0,7
9:00	10,0	9,5	8,7	-0,4	21:00	10,2	9,5	9,2	0,6
10:00	11,8	11,4	10,7	0,3	22:00	10,1	9,4	8,9	0,5
11:00	13,5	13,2	12,5	1,2	23:00	10,1	9,4	8,9	0,4
12:00	14,7	14,5	13,8	2,3	00:00	10,3	9,6	9,0	0,3

Для температуры почвы, которая обогревается:

а) на поверхности в блок-секции будет иметь вид:

$$t_{\text{пов.грунту}}^{\text{ГС ПОГ}} = 0,7162 \cdot t_{\text{води}}^{\text{ГС ПОГ}} + 0,1858 \cdot t_{\text{пов.грунту}}^{\text{КД}}; R^2 = 0,9929 \quad (27.3)$$

$$t_{\text{пов.грунту}}^{\text{ГС ПОГ}} = 0,7039 \cdot t_{\text{води}}^{\text{ГС ПОГ}} + 0,2219 \cdot t_{\text{повітря } 2,0 \text{ м}}^{\text{КД}}; R^2 = 0,9933 \quad (27.4)$$

где $t_{\text{пов.грунту}}^{\text{ГС ПОГ}}$ – температура на поверхности почвы в блок-секции, °С;

$t_{\text{води}}^{\text{ГС ПОГ}}$ – температура воды в блок-секции, °С;

$t_{\text{пов.грунту}}^{\text{КД}}$ – температура поверхности почвы на контроле, °С;

$t_{\text{повітря } 2,0 \text{ м}}^{\text{КД}}$ – температура воздуха на контроле на высоте 2,0 м, °С;

б) на глубине 0,1 м в блок-секции:

$$t_{гр.0,1}^{ГС ПОГ} = 0,7522 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,0965 \cdot t_{пов.грунту}^{КД}; R^2 = 0,9906 \quad (27.5)$$

$$t_{гр.0,1}^{ГС ПОГ} = 0,7387 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,1303 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9912 \quad (27.6)$$

в) на глубине 0,2 м в блок-секции СПОГ:

$$t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,6656 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,113 \cdot t_{пов.грунту}^{КД}; R^2 = 0,9659 \quad (27.7)$$

$$t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,6487 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,1547 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9670 \quad (27.8)$$

г) на глубине 0,4 м в блок-секции СПОГ:

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 0,5396 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,0877 \cdot t_{пов.грунту}^{КД}; R^2 = 0,6899 \quad (27.9)$$

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 0,5369 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,0981 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,6898 \quad (27.10)$$

Таблица 28.21

Среднечасовой локальный тепловой эффект 18.03.2011 в воздухе блок-секции ПОП на разной высоте ($T_B = 20,0$), °C

Часы	Высота, см			Часы	Высота, см		
	20	30	70		20	30	70
1:00	9,4	8,8	8,0	13:00	12,9	12,8	12,4
2:00	9,3	8,5	7,5	14:00	12,5	12,5	11,7
3:00	9,4	8,6	7,5	15:00	12,1	11,9	11,0
4:00	9,6	8,8	8,1	16:00	11,5	11,2	10,4
5:00	9,5	8,7	7,8	17:00	10,8	10,4	9,6
6:00	9,7	8,9	8,1	18:00	10,1	9,6	9,0
7:00	9,7	8,9	8,1	19:00	10,0	9,3	8,7
8:00	10,2	9,5	8,6	20:00	9,9	9,2	8,6
9:00	10,4	9,9	9,1	21:00	9,6	8,9	8,6
10:00	11,5	11,1	10,4	22:00	9,6	8,9	8,4
11:00	12,3	12,0	11,3	23:00	9,7	9,0	8,5
12:00	12,4	12,2	11,5	00:00	10,0	9,3	8,7

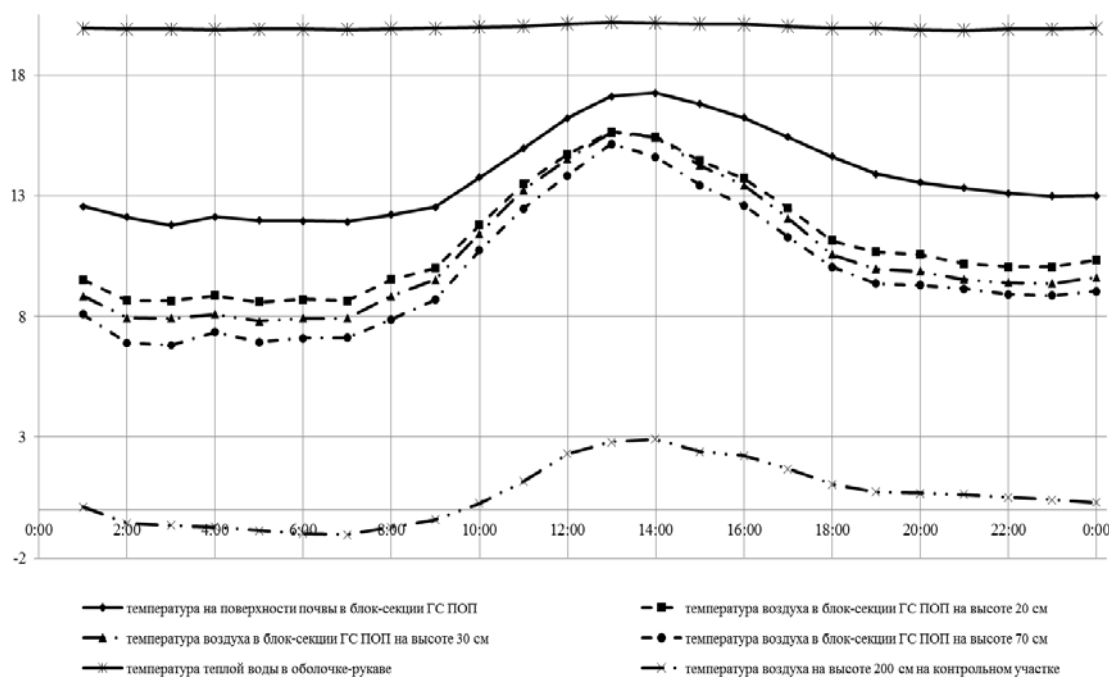


Рис. 27.16. Суточный ход температуры воздуха 18.03.2011 на разной высоте в блок-секции ГС ПОП и на контрольном участке при самой низкой среднесуточной температуре на поверхности контрольного участка ($T_B = 20,0$ °C)

Как видим, зависимость для определения температуры почвы на глубине 0,4 в блок-секции ГС ПОГ имеет средний коэффициент детерминации, не позволяет на достаточном инженерно-научном уровне определять величины температур на указанной глубине. Поэтому нами предложено зависимости (4.9–4.10) дополнить температурой почвы на глубине 0,2 м в блок-секции ГС ПОП, после чего они приобретают вид:

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 1,0186 \cdot t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} - 0,2118 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,0709 \cdot t_{пов.грунту}^{КД}; R^2 = 0,9958 \quad (27.11)$$

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 0,5735 \cdot t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} - 0,0944 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,1191 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9833 \quad (27.12)$$

Поверхностный обогрев рукавами-оболочками способствует обогреву не только корнеобитаемого слоя почвы, но и приземного слоя воздуха. Анализ данных позволил установить зависимости для определения температур приземного слоя воздуха в блок-секции ГС ПОП на разных высотах в зависимости от температуры воды в оболочке-рукаве и воздуха на контрольном участке на высоте 2,0 м:

а) на высоте 0,2 м:

$$t_{пов.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,5175 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,5323 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9747 \quad (27.13)$$

б) на высоте 0,3 м:

$$t_{пов.0,3}^{ГС ПОГ} = 0,4711 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,6033 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9636 \quad (27.14)$$

в) на высоте 0,7 м:

$$t_{пов.0,7}^{ГС ПОГ} = 0,4454 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,6152 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9668 \quad (27.15)$$

По результатам натурных наблюдений для контрольного участка также получены зависимости взаимосвязи между температурами почвы и воздуха:

а) для расчета температуры на поверхности почвы в зависимости от температуры воздуха на высоте 2,0 м:

$$t_{пов.гр.}^{КД} = 1,0663 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9626 \quad (27.16)$$

б) для расчета температуры почвы на глубине 0,2 м в зависимости от температуры воздуха на высоте 2,0 м:

$$t_{гр.0,2}^{КД} = 0,7816 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,8524 \quad (27.17)$$

Важным научно-практическим результатом является возможность прогнозировать эффективность поверхностного обогрева в ночное время (с 24:00 до 6:00). С этой целью нами было обработаны данные наблюдений и получены зависимости температур почвы на разной глубине и воздуха в блок-секции ГС ПОГ от температуры воды в рукаве-оболочке и воздуха окружающей среды.

Для температуры почвы в ночные часы (с 24:00 до 6:00):

а) на поверхности в блок-секции ГС ПОП зависимость будет иметь вид:

$$t_{пов.грунту}^{ГС ПОГ} = 0,6288 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,4329 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9971 \quad (27.18)$$

где $t_{пов.грунту}^{ГС ПОГ}$ – температура на поверхности почвы в блок-секции СПОП, °С;

$t_{води}^{ГС ПОГ}$ – температура воды в системе обогрева, °С;

$t_{пов.грунту}^{КД}$ – температура поверхности почвы на контрольном участке, °С;

$t_{повітря 2,0 м}^{КД}$ – температура воздуха на контрольном участке на высоте 2,0 м, °С;

б) на глубине 0,1 м в блок-секции:

$$t_{гр.0,1}^{ГС ПОГ} = 0,6696 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,4544 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9939 \quad (27.19)$$

в) на глубине 0,2 м в блок-секции:

$$t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,5910 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,5530 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9837 \quad (27.20)$$

г) на глубине 0,4 м в блок-секции:

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 0,5971 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,1448 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,5162 \quad (27.21)$$

Для температуры воздуха в блок-секции СПОП в ночные часы зависимости имеют вид:

а) на высоте 0,2 м:

$$t_{пов.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,5114 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,3090 \cdot t_{повітря 2,0 м}^{КД}; R^2 = 0,9949 \quad (27.22)$$

б) на высоте 0,3 м:

$$t_{пов.0,3}^{ГС ПОГ} = 0,3240 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,4629 \cdot t_{повит.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9942 \quad (27.23)$$

в) на высоте 0,7 м:

$$t_{пов.0,7}^{ГС ПОГ} = 0,4264 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,3842 \cdot t_{повит.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9933 \quad (27.24)$$

Отметим, что полученные зависимости можно использовать для условий использования пяти рукавов диаметром 0,1 м, расположенных на участке почвы шириной 1,0 м, который защищен туннельным укрытием из пленки толщиной 100 мкм.

Таким образом, ГС ПОП с оболочками-рукавами позволяет создавать ранней весной достаточно благоприятные температурные условия в среде роста и развития сельскохозяйственных культур. Приземный слой воздуха достаточно прогревается, и в нем поддерживаются температуры, которые позволяют растениям активно расти и развиваться даже в те периоды, когда наблюдается неблагоприятное воздействие метеорологических факторов.

Поверхностный обогрев почвы оболочками-рукавами в виде гибких трубопроводов диаметром 0,1 м, которые расположены через 20 см и по которым циркулирует теплая вода с температурой 20–30 °С, является мощным тепломелиоративным мероприятием, которое позволяет уже в марте, даже при отрицательных температурах внешней среды, создавать достаточные температуры для прорастания, роста и развития сельскохозяйственных культур. При этом обязательным условием поверхностного обогрева является применение пленочных укрытий, в частности туннельного типа. При постоянном поверхностном обогреве почвы рукавами-трубопроводами с водой с температурой 18–20 °С уже в первой декаде марта в слое 0–10 см достигаются температуры в пределах 12–15 °С, что является достаточным условием для начального роста растений.

При этом снаружи за пределами укрытия температурный режим составляет около 0 °С. Уже во второй и третьей декадах марта среднедекадные температуры почвы достигают значений 15–18 °С, а в апреле – 18–22 °С, и этого достаточно для активного роста растений. В дневные часы температуры достигали значений 25–30 °С, что является оптимальной величиной для многих растений. При этом наибольшие эффекты имеют место в верхнем слое почвы, где расположена основная корневая система растений. Значительные температурные эффекты наблюдаются и в ночные часы, что очень важно с точки зрения защиты растений от заморозков и ночного похолодания.

Обогрев совместно с туннельным укрытием позволяет быстро накопить значительные суммы активных температур в почве. Так, сумма температур больше 10 °С на глубине 0–20 см на контроле за март-апрель составила 553–736 °С, а на обогреве – 1430–1613 °С, что вдвое больше.

Высокие температурные эффекты достигаются при обогреве и в воздухе. Уже в первой-второй декаде марта температуры воздуха на высоте 20 см при держатся на 10–13 °С, в то время как на контрольном участке они колеблются от –2 °С до 1,5 °С.

Интенсивный нагрев почвы, развитие растений и увеличенное суммарное испарение, как следствие, приводят к потерям влаги из почвы и необходимости регулирования водного режима почвы, особенно в верхнем 0–10 см слое. Для поддержания влажности почвы на нужном для развития растений уровне нужно подавать в почву, которая обогревается, дополнительное количество влаги. Регулировать уровень влаги в почве можно с помощью капельных ленточных систем орошения, периодически увлажняя почву небольшими поливными нормами в пределах 150–200 м³/га, преимущественно в течение второй половины апреля и мая, когда начинается проветривание тоннелей и потери влаги растут. При закрытых тоннелях в марте-апреле уровень влажности в почве сохраняется на достаточном уровне без дополнительного увлажнения [20].

Внедрение технологии поверхностного обогрева почвы на площади 1 га как инновационного проекта по методике оценки чистого дисконтированного дохода дает чистый доход в 40 тыс. у.о. при выращивании клубники. Период окупаемости капитальных вложений не превышает 3 лет.

27.8. Математическое моделирование тепловых процессов при обогреве почвы оболочками-рукавами

С точки зрения математического моделирования тепловые процессы, которые происходят в системе ГС ПОП, относятся к сложным, которые достаточно трудно поддаются точному аналитическому решению. В блок-секции ГС ПОП теплопередача осуществляется теплопроводностью, конвекцией и, в определенной мере, тепловым излучением. Это усложняет моделирование тепловых процессов в системе ГС ПОП и заставляет применять определенные упрощения и допуски при формулировании физической картины теплообменных процессов.

Теоретической основой для описания тепловых процессов в ГС ПОГ является система уравнений, которая включает в себя:

а) уравнение теплового баланса с учетом теплопроводности и конвективной составляющей:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) - \rho C_p (\mathbf{u} \cdot \nabla T) + Q \quad (27.25)$$

где \mathbf{u} – вектор скорости;

ρ – плотность вещества;

λ – коэффициент теплопроводности;

C_p – удельная теплоемкость;

T – температура;

Q – тепловой поток;

t – время;

б) уравнения гидродинамики, включающих уравнения Навье-Стокса:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \mathbf{F} - \text{grad } p + (\mu_v + \frac{\mu}{3}) \text{grad div } \mathbf{u} + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (27.26)$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа;

p – давление;

$c_{\text{зовн.}}$ – плотность воздуха при температуре внешнего воздуха;

μ – динамическая вязкость;

μ_v – объемная вязкость;

\mathbf{F} – вектор внешней силы, который определяется по зависимости:

$$\mathbf{F} = (c - c_{\text{зовн.}}) \mathbf{g} \quad (27.27)$$

где $\mathbf{g}(x, y, z) = (0; 0; -g, 8I)$ – вектор ускорения свободного падения;

Плотность воздуха определяется по формуле:

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (27.28)$$

где M – молекулярная масса;

R – газовая постоянная;

в) уравнения неразрывности потока, которое имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \text{div } \mathbf{u} = 0 \quad (27.29)$$

Решение данной системы уравнений (27.25, 27.26, 27.29) в общем случае представляет достаточно сложное и трудоемкое задание. Для задачи такого вида, как правило, принимаются определенные упрощения и допущения, позволяющие решить ее приближенно. Универсальное аналитическое решение данной системы неизвестно.

Для получения математической модели теплообмена в укрытии туннельного типа ГС ПОП с рукавами-оболочками рассмотрим проекции системы уравнений (27.25, 27.26, 27.29) на декартову систему координат:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q + \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - \rho C_p \left(u_x \frac{\partial T}{\partial x} - u_y \frac{\partial T}{\partial y} - u_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial u_x}{\partial t} = F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \text{div } \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \right] \\ \rho \frac{\partial u_y}{\partial t} = F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \text{div } \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \right] \\ \rho \frac{\partial u_z}{\partial t} = F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \text{div } \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \right] \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \left(\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} \right) \end{array} \right. \quad (27.30)$$

где u – вектор скорости с проекциями u_x, u_y, u_z на соответствующие оси координат x, y, z ;

F_x, F_y, F_z – проекции вектора внешней силы F на координатные оси.

Решение системы уравнений (27.30) можно осуществить общеизвестным методом конечных элементов, основным недостатком которого является большое количество простых математических действий. Однако на данном этапе развития вычислительной техники его можно считать несущественным. Производные, входящие в дифференциальное уравнение и граничные условия, заменяем разностными производными. Таким образом, краевая задача для дифференциального уравнения заменяется системой линейных или нелинейных алгебраических уравнений. Такие системы называют разностными схемами, которые решают относительно неизвестной функции сетки.

В общем случае непрерывная величина заранее неизвестна, и необходимо определить значение этой величины в узлах сетки расчетной области. При решении системы уравнений предполагают, что известны начальные числовые значения этой величины в узлах сетки расчетной области.

Анализ теплообменных процессов, которые происходят в блок-секции ГС ПОП, проведем на ее модели, состоящей из укрытия туннельного типа радиусом R , в котором размещены гибкие оболочки-рукава эллипсоидальной формы сечения и почвы глубиной H и шириной L .

Расчетная схема задачи расчета стационарного теплового режима укрытия туннельного типа представлена на рисунке 27.17.

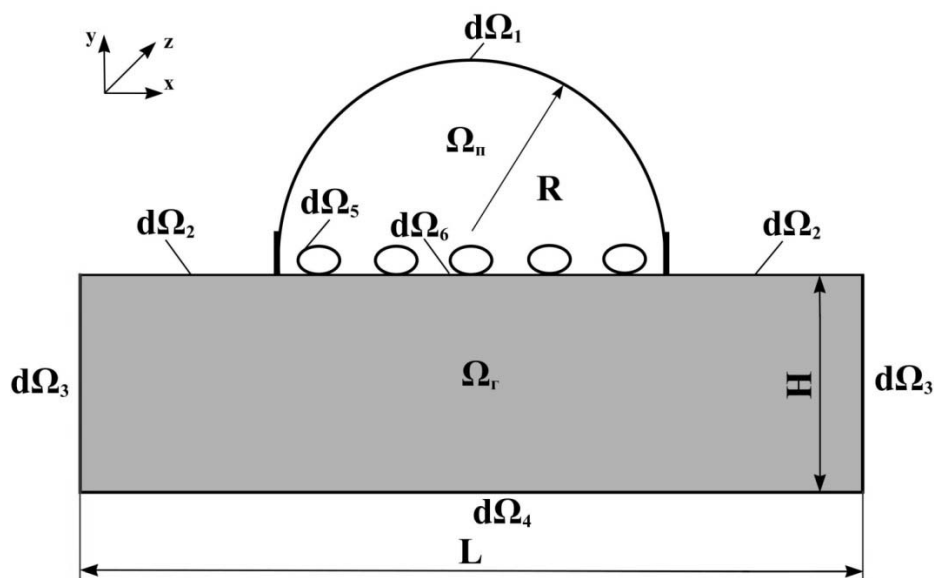


Рис. 27.17. Расчетная схема блок-секции ГС ПОП из 5 рукавов-оболочек

Анализируя факторы, определяющие условия теплопередачи в блок-секции ГС ПОП с укрытиями туннельного типа, применим следующие упрощенные представления:

- 1) укрытие рассматривается как тонкая однородная прозрачная оболочка с постоянной температурой;
- 2) воздушное пространство укрытия туннельного типа рассматривается как некоторая однородная среда с равномерно распределенными источниками, температура которых не зависит от пространственных координат и является лишь функцией времени;
- 3) грунт при укрытии рассматривается как полуограниченный массив с достаточно ровной горизонтальной поверхностью и равномерно распределенными источниками тепла на нем;
- 4) все метеорологические факторы являются только временными функциями.

Для построения адекватной математической модели процесса теплопередачи в середине укрытия, в указанных условиях обогрева, целесообразным является применение математического аппарата, характеризующего стационарные процессы теплопередачи, а именно применение элементов теории дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа с соответствующими краевыми условиями.

Учитывая конструктивные особенности блок-секции СПОГ как культивационного сооружения:

- а) профиль укрытия туннельного типа в виде арки вдоль всей длины;
- б) длину рукавов-оболочек, значительно превышающую их высоту и ширину, делаем вывод о том, что распределение температур в пределах укрытий туннельного типа остается неизменным в каждом поперечном сечении в направлении длины укрытия, то есть пространственную задачу тепло-

обмена заменяем соответствующей плоско-параллельной задачей для случая только двух пространственных переменных x и y .

При построении математической модели стационарной теплопроводности укрытий туннельного типа были использованы следующие упрощения физических аналогий, соответствующие общепринятым нормам инженерных расчетов теплового режима культивационных сооружений:

- метеорологические условия таковы, что передача тепла от поверхности почвы в атмосферу и от поверхности укрытия в атмосферу осуществляется турбулентным путем и значительно преобладает над другими видами теплопередачи;

- предел «почва – воздух» является плоскостью, совпадает с поверхностью почвы;

- теплофизические характеристики почвы и воздуха, а также метеорологические параметры вдоль поверхности почвы не изменяются;

- почва рассматривается как полугораниченный массив с постоянной температурой на фиксированной глубине;

- внутри укрытия туннельного типа конвективный теплообмен между поверхностью почвы, теплообменника-рукава и воздухом, в отличие от открытого грунта происходит за счет свободной конвекции;

- ограждение укрытий туннельного типа считается тонкой однородной оболочкой;

- пространство укрытий туннельного типа рассматривается как некоторая однородная среда с равномерно распределенными источниками тепла постоянной мощности, температура которого меняется от пространственных координат и зависит от геометрической формы укрытия.

Поскольку длина блок-секции ГС ПОП намного больше ее ширины, рассмотрим двумерную задачу и область ее поперечного сечения. При этом будем считать, что проекции на ось z и соответствующие производные первого и второго порядка по z равны нулю, то есть:

$$F_z = 0; u_z = 0 \quad (27.31)$$

$$\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} = 0; \frac{\partial u_z}{\partial x} = 0; \frac{\partial u_z}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial u_z}{\partial t} = 0 \quad (27.32)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0; \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0; \frac{\partial u_x}{\partial z} = 0; \frac{\partial u_y}{\partial z} = 0 \quad (27.33)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \right] = 0; \quad \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \right] = 0 \quad (27.34)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \operatorname{div} u \right] = 0 \quad (27.35)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (27.36)$$

С учетом (27.31–27.36) система уравнений (27.30) примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q + \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \rho C_p (u_x \frac{\partial T}{\partial x} - u_y \frac{\partial T}{\partial y}) \\ \rho \frac{\partial u_x}{\partial t} = F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \operatorname{div} u \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] \\ \rho \frac{\partial u_y}{\partial t} = F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \operatorname{div} u \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \left(\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} \right) \end{array} \right. \quad (27.37)$$

Система уравнений (27.37) описывает процессы теплообмена при пренебрежении изменением температуры и тепловыми потоками вдоль блок-секции ГС ПОП.

Рассмотрим решение задачи для стационарных условий. В стационарном режиме теплообмена:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0; \frac{\partial u_x}{\partial t} = 0; \frac{\partial u_y}{\partial t} = 0; \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (27.38)$$

С учетом (27.38) система уравнений (27.37) приобретает вид:

$$\begin{cases} Q + \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \rho C_p \left(u_x \frac{\partial T}{\partial x} - u_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0 \\ F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \operatorname{div} u \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] = 0 \\ F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) \operatorname{div} u \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] = 0 \\ \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (27.39)$$

Граничные условия на границе расчетной области модели (рис. 27.17) задаем исходя из следующих допущений:

1. На поверхности почвы вне укрытия и на поверхности пленки температура равна температуре окружающей среды:

$$T|_{d\Omega_1} = T_n; \quad T|_{d\Omega_2} = T_n \quad (27.40)$$

2. На значительном расстоянии, порядка $\frac{L}{2} = 10 \cdot R$ от центра укрытия тепловой поток через боковую поверхность почвы будем считать равным нулю:

$$\lambda_{ep} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{d\Omega_3} = 0 \quad (27.41)$$

3. На глубине $H = H_0$ постоянная температура почвы:

$$T|_{d\Omega_4} = T_0 \quad (27.42)$$

4. На поверхности рукава-оболочки температура равняется температуре теплой воды:

$$T|_{d\Omega_5} = T_{me} \quad (27.43)$$

5. На границе почва-воздух укрытия в блок-секции ГС ПОП выполняется условие равенства тепловых потоков:

$$\lambda_{ep,укр} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{d\Omega_6} = -\lambda_{нов,укр} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \quad (27.44)$$

6. Скорость воздуха на внутренней поверхности пленки, поверхности оболочек-рукавов и на поверхности почвы в укрытии равна нулю:

$$u|_{d\Omega_1} = 0; \quad u|_{d\Omega_5} = 0; \quad u|_{d\Omega_6} = 0 \quad (27.45)$$

Проверку адекватности математической модели теплопередачи и теплообмена в блок-секции ГС ПОП в стационарном режиме проводили на модели эквивалентной натурной опытной установки с радиусом укрытия $R = 0,5$ м и высотой каркаса укрытия $h = 0,2$ м. В расчетах рассматриваем слой почвы глубиной $H_0 = 8,6$ м и шириной $L = 20 \cdot R = 10$ м.

Зависимость удельной теплоемкости и теплопроводности от влажности почвы аппроксимировали линейными уравнениями вида:

$$\lambda = \lambda_0 + \alpha w \quad (27.46)$$

$$c = c_0 + \beta w \quad (27.47)$$

где $\lambda_0 = 0,42 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ и $c_0 = 780 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – теплопроводность и удельная теплоемкость сухой почвы;

$\alpha = 0,022 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К} \cdot \%}$ та $\beta = 23,33 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К} \cdot \%}$ – коэффициенты, учитывают изменение теплопроводности и удельной теплоемкости при изменении влажности почвы на 1 %.

Поскольку теплофизические свойства чернозема обыкновенного зависят от его влажности, которая может изменяться в пределах от 0 до 40 %, то в модели принимаем значения теплопроводности λ и теплоемкости c для чернозема обыкновенного при влажности 20 %, что составляет соответственно $c = 1246,6 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ и $\lambda = 0,860 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Для решения рассматриваемой математической модели процессов теплопередачи в ГС ПОП использовано программу COMSOL Multiphysics, основанную на дифференциальных уравнениях в частных производных методом конечных элементов. COMSOL Multiphysics позволяет решать стационарные, нестационарные, линейные и нелинейные задачи различной размерности.

Особенностью COMSOL Multiphysics является возможность расширять стандартные модели, использующие одно дифференциальное уравнение, в мультифизические модели для расчета связан-

ных между собой физических явлений. Расчет коэффициентов дифференциальных уравнений в частных производных осуществляется автоматически с учетом заданных пользователем физических свойств и условий задачи.

Взаимодействие с программой происходит через графический интерфейс пользователя, существует также возможность программирования с помощью скриптов на языке COMSOL Script, или на языке MATLAB. Модель в COMSOL Multiphysics задается графическим способом с выбором свойств отдельных частей и границ и с помощью переменных связи позволяет связывать модели разного типа, с различными геометрическими формами.

Для расчета температурного режима и характера распределения тепловых потоков в блок-секции ГС ПОГ ее модель была разбита на сетку, состоящую из треугольных элементов, вид которой приведен на рисунке 27.18.

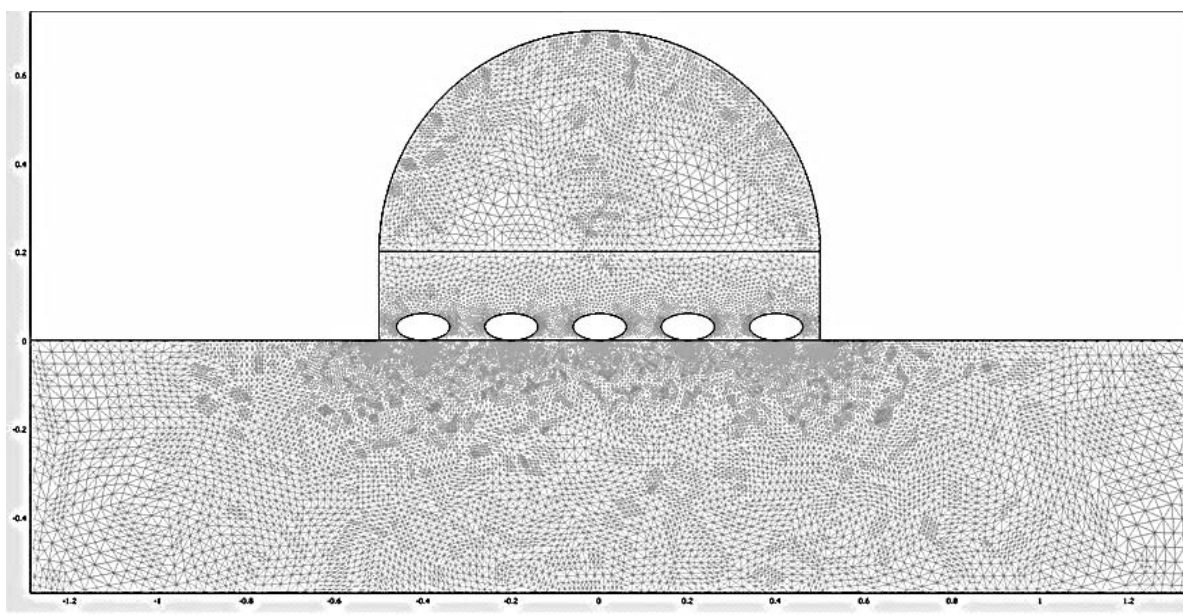


Рис. 27.18. Разбитие расчетной области блок-секции ГС ПОП сеткой

Учитывая, что температура окружающей среды при использовании ГС ПОП данного типа может варьироваться в пределах -20 $+20$ °С, температура теплой воды – от $+15$ до $+35$ °С и влажность почвы находится в пределах от 0 до 40 %, для выявления достаточных термических эффектов нами были проведены многочисленные расчеты и получены соответствующие результаты.

В результате проведенных числовых расчетов на ПК для температуры теплой воды $T_{ТВ} = 20$ °С и температуры наружного воздуха $T_{П} = 0$ °С получено распределение поля температур и тепловых потоков в блок-секции ГС ПОП (рис. 27.19) и графики изменения температур почвы по глубине и температур воздуха по высоте (рис. 27.20, 27.21).

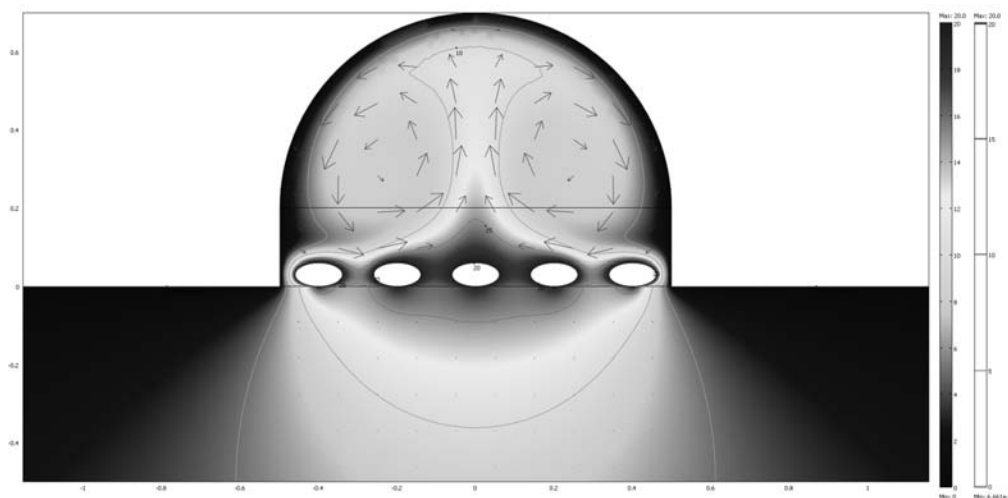


Рис. 27.19. Результаты компьютерного моделирования распределения температуры в блок-секции ГС ПОП при температуре теплой воды $T_{ТВ} = 20$ °С и температуре наружного воздуха $T_{П} = 0$ °С

С целью выявления адекватности математической модели и возможности ее применения для прогнозирования температурного режима приземного слоя воздуха и почвы в блок-секции ГС ПОГ, а также движения тепловых потоков было проведено сравнение результатов численных расчетов и данных натурального эксперимента, которые приведены в таблице 27.22.

Сравнение показывает достаточную для инженерной практики сходимость расчетных данных с экспериментальными, что указывает на возможность применения разработанной математической модели теплопередачи и теплообмена в пленочном укрытии с обогревом почвы трубопроводными оболочками-рукавами.

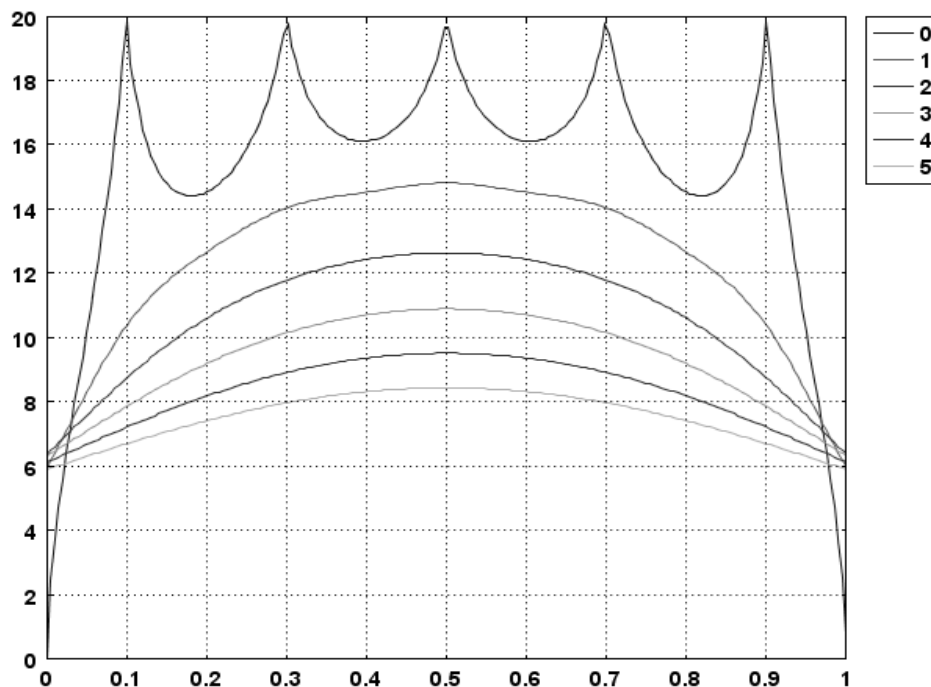


Рис. 27.20. Графики распределения температур в почве в блок-секции ГС ПОП при $T_n = 0\text{ }^\circ\text{C}$ и $T_v = 20\text{ }^\circ\text{C}$:

0 – на поверхности почвы; 1 – на глубине 0,1 м; 2 – на глубине 0,2 м; 3 – на глубине 0,3 м; 4 – на глубине 0,4 м; 5 – на глубине 0,5 м

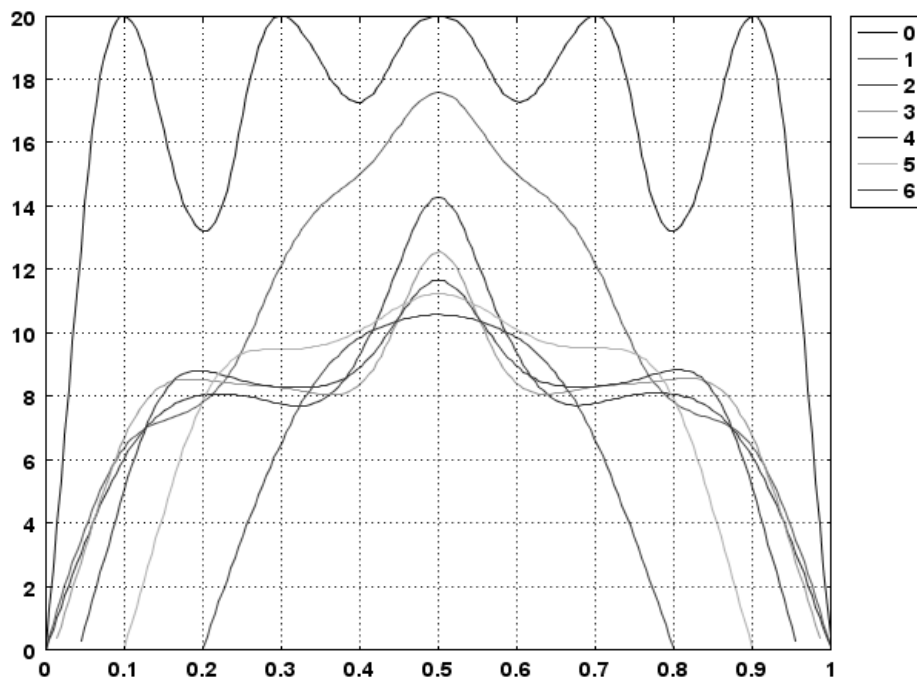


Рис. 27.21. Графики распределения температур в воздухе в блок-секции ГС ПОП при $T_n = 0\text{ }^\circ\text{C}$ и $T_v = 20\text{ }^\circ\text{C}$:

0 – на высоте поверхности рукавов; 1 – на высоте 0,1 м; 2 – на высоте 0,2 м; 3 – на высоте 0,3 м; 4 – на высоте 0,4 м; 5 – на высоте 0,5 м; 6 – на высоте 0,6 м

Сравнение результатов численного расчета и натурального эксперимента при значениях температур почвы и воздуха в блок-секции ГС ПОГ при температуре теплой воды 25 °С

Высота, м	Температура внешнего воздуха		Отклонение, %
	10 °С		
	Числовой расчет	Натурный эксперимент*	
-0,4	17	15,8	7,6
-0,2	19	17,9	6,1
-0,1	21	22,3	5,8
0	24,5	24,2	1,2
0,2	21,5	22,3	3,6
0,3	19	19,9	4,5
0,7	17,5	18,8	6,9
Среднее			5,0

Примечания: 1 – результаты численного моделирования в среде COMSOL Multiphysics; 2 – результаты натурального эксперимента в течение периода исследований в 2011 г.; * – значения температуры зафиксированы 29.03.2011 в 16:55.

Таким образом, для практических целей инженерных расчетов возможным является обоснование и введение в математическое моделирование физических процессов теплопередачи и теплообмена в блок-секции ГС ПОП предложенного нами целого ряда упрощений и допущений. Теоретические расчеты подтвердили возможность применения разработанной нами математической модели для компьютерных исследований эффективности почвенного обогрева оболочками-рукавами разной конструкции и для разных почвенно-климатических условий.

Литература

1. Солдатов А. И., Скотникова О. Г. Утилизация выбросов АЭС – создание энергобиологического комплекса. – М., 1999.
2. Фактори екологічного впливу електроенергетичних об'єктів на довкілля / Т. П. Нечаєва, С. В. Шульженко, Д. П. Сас [та ін.] // Екологічні аспекти енергетики та захист довкілля. – 2008. – № 18. – С. 54–60.
3. Суздалева А. Л. Структура и экологическое состояние природно-техногенных систем водоемов-охладителей АЭС : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.16, 05.26.02. – М., 2002. – 515 с.
4. Сухов А. К., Мороз Н. А. Проблемы эксплуатации прудов-охладителей АЭС в перспективе развития ядерной энергетики Украины // Збірник наук. праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. – 2010. – № 1(33). – С. 74–79.
5. Пузанков А. С. Влияние АЭС на экосистему // Екологічна безпека. – 2009. – №3. – С. 68–69.
6. Мороз Н. А., Савелий Л. Л., Загорюлько И. А. Особенности изменения гидрохимического состояний поверхностных вод прилегающей акватории Запорожской АЭС // Збірник наук. праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. – 2011. – Вып. 2(38). – С. 130–137.
7. Копач П. І., Шварцман В. М. Екологічний підхід до оцінки пароводяних викидів південної групи підприємств Кривбасу // Екологія і природокористування : зб. наук. праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України. – Дніпропетровськ, 2000. – Вып. 2. – С. 106–111.
8. Кузнецов Ю. А. Повышение энергоэффективности за счет утилизации низкопотенциальных энергоресурсов // Вісник Криворізького технічного університету. – 2010. – Вып. 26. – С. 199–202.
9. Романюк І. В. Теплова меліорація ґрунту скидною теплою водою за допомогою гідротехнічної системи з теплообмінниками-рукавами (в умовах Західного Полісся України) : канд. ...техн. наук : 06.01.02 / Романюк Іван Васильович. – Рівне, 2007. – 249 с.
10. Васильев Н. Н., Ремизов Ю. В. Энергобиологические комплексы как способ утилизации сбросного тепла крупных энергообъектов и создание высокоинтенсивного безотходного производства // Вопросы атомной науки и техники. – 2004. – Вып. 1. – С. 57–60.
11. Востріков В. П., Пінчук О. Л. Теплоеліоративні системи для обігріву ґрунту з використанням низькотемпературних теплових відходів // Водне господарство України. – 2009. – № 6. – С. 36.
12. Бойченко С. Г. Глобальні і регіональні коливання (зміни) клімату та можливі екологічні наслідки від них на території України: напівемпіричні моделі, сценарії : дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.09 / Бойченко Світлана Григорівна. – Одеса, 2005. – 323 с.
13. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. М. І. Ромащенко. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
14. Рокочинський А. М. Оптимізація проектних, технічних та технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації (технічні науки)». – Київ: УААН, 2002. – 35 с.

15. Рокочинський А. М. Принципи реалізації кліматологічно оптимальної стратегії управління меліоративними об'єктами на осушуваних землях // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць. – 2000. – Вип. 25. – С. 42–49.
16. Пінчук О. Л. Возможности тепловой мелиорации для обеспечения продовольственной безопасности страны // Природообустройство: науч.-практ. журн. – 2015. – № 1. – С. 6–11.
17. Моделювання теплових процесів в ґрунті при обігріві водонаповненими рукавами / В. П. Востріков, І. В. Романюк, О. Л. Пінчук [та ін.] // Меліорація і водне господарство: міжвідомчий тематичний науковий збірник. – Київ: Аграрна наука, 2008. – Вип. 96. – С. 244–253.
18. Дослідження температурного режиму ґрунту в блок-секції тепломеліоративної системи з оболонками-рукавами / В. П. Востріков, І. В. Романюк [та ін.] // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – Вип. 4(64). Сільсько-господарські науки. – Рівне, 2013. – С. 24–34.
19. Пінчук О. Л. Температурний режим приземного шару повітря в блок-секції тепло- меліоративної системи із рукавами-оболонками // Меліорація і водне господарство : між від. тематич. наук. зб. – Київ, 2015. – Вип. 102. – С. 79–83.
20. Pinchuk O. L., Vostrikov V.P., Gnatyuk V.N. Soil water regime in the tunnel shelters at heating water filled shells-sleeves and drip irrigation / Universal Journal of Food and Nutrition Science. – 2014. – Vol. 2(1). – P. 7–17.
21. Економічна ефективність функціонування тепломеліоративної системи на основі оболонок-рукавів / В. П. Востріков, І. Романюк [та ін.] // Вісник НУВГП : зб. наук. праць. – Вип. 1(65). Економічні науки. – Рівне, 2014. – С. 458–466.

Глава 28. ГЛУБОКОЕ РЫХЛЕНИЕ ОСУШАЕМЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ ВОЛЫНСКОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

28.1. Современное состояние, необходимость и пути улучшения агромелиоративного состояния осушаемых земель

Первостепенное значение в интенсификации сельскохозяйственного производства полесских районов Украины имеет мелиорация земель, составной частью которой является осушение почв периодического избыточного увлажнения. В Полесье мелиорацией земель в той или иной степени охвачены все сельскохозяйственные угодья.

В условиях Волынского Полесья Украины аграрное производство, в том числе на мелиорированных землях, осложняется имеющимися природно-климатическими, почвенными и другими условиями. Преобладающие на данной территории осушаемые дерново-подзолистые, поверхностно оглеенные почвы часто имеют неблагоприятные водно-физические свойства и общее эколого-мелиоративное состояние, снижающее эффективность их использования. В связи с этим проблема повышения эффективности использования сельскохозяйственных угодий в зоне осушительных мелиораций приобретает особую актуальность, и прежде всего из-за неблагоприятных водно-физических свойств почв, их вторичного изменения и эколого-мелиоративного состояния. Это приводит к снижению уровня урожайности выращиваемых культур и недополучению сельскохозяйственной продукции на землях с регулируемым водным режимом.

Основным способом осушения минеральных переувлажненных почв является закрытый материальный дренаж, который в современных условиях не всегда обеспечивает выполнение проектных показателей водного режима.

Различными аспектами осушения переувлажненных почв занимались А. Н. Костяков, Ф. Р. Зайдельман, Б. С. Маслов, Ш. И. Брусиловский, В. Ф. Шебеко, И. Г. Афанасик, П. И. Закржевский, А. П. Лихачевич, А. М. Янголь, С. Т. Вознюк, В. Е. Алексеевский, А. В. Яцык, Н. А. Клименко, А. В. Скрипник, Н. А. Лазарчук, Л. Ф. Кожушко и др. Было установлено, что их осушение и дальнейшее использование изменяют направление и темпы развития почвенных процессов, а также водно-физические свойства почв, в целом повышая их продуктивность, но вместе с тем до конца не устраняют негативные по отношению к выращиваемым культурам их свойства.

Неблагоприятные водно-физические свойства, прежде всего подпахотного горизонта дерново-подзолистых почв, отрицательно влияют на их влагообеспеченность и соответственно на плодородие. Также неоднозначным является влияние осушения на почвенные процессы. Поэтому при освоении и использовании земель рекомендуется одновременно с устройством дренажа проводить ряд агро-мелиоративных мероприятий, направленных на увеличение аккумулирующей способности активного слоя почвы, улучшение поверхностного и внутрипочвенного стока, обогащение почвы питательными элементами (С. Т. Вознюк, Н. А. Клименко, В. Р. Гимбаржевский и др.).

Еще В. Я. Черненко и Ш. И. Брусиловский (1983) отмечали, что наиболее эффективным агро-мелиоративным мероприятием на дерново-подзолистых почвах является глубокое рыхление. Исследованиями С. М. Перехреста, И. Ф. Подпалого, В. С. Олейника, Д. А. Тютюнника, В. Р. Гимбаржевского, В. П. Кубышкина и других ученых, проведенными в Западном регионе Украины, также подтверждена эффективность глубокого рыхления осушаемых дерново-подзолистых оглеенных почв. При этом конструкции традиционных глубокорыхлителей не гарантируют необходимого качества разрыхления почвы, их оструктуривание, защиту почвенной среды от техногенного воздействия (И. В. Войтович и др.). Они уплотняют почву стенок прорезаемых щелей, требуют при рыхлении значительных энергозатрат, имеют недостаточную полноту рыхления, длительность последствия.

Таким образом, широкое применение глубокого рыхления сдерживается несовершенством существующих технологий и средств (рис. 28.1, 28.2), которые не обеспечивают необходимое качество и эффективность рыхления, а потому требуют дальнейшего совершенствования в соответствии со следующими требованиями [5, 14, 18]: 1) обеспечивать длительное последствие; 2) улучшать водно-физические свойства и структуру почвы, повышать ее плодородие; 3) обеспечивать высокую аккумулирующую и сорбционную способность почвы, повышать эффективность ее водорегулирования; 4) обеспечивать ресурсосбережение, высокую экономическую и энергетическую эффективность; 5) отвечать современным принципам адаптивного природопользования.

В связи с изложенным актуальным является вопрос о поиске новых решений, которые дали бы возможность устранить имеющиеся недостатки и ввести в практику осушительных мелиораций более прогрессивные и совершенные в техническом, экономическом и экологическом плане способы и средства глубокого рыхления почвы.

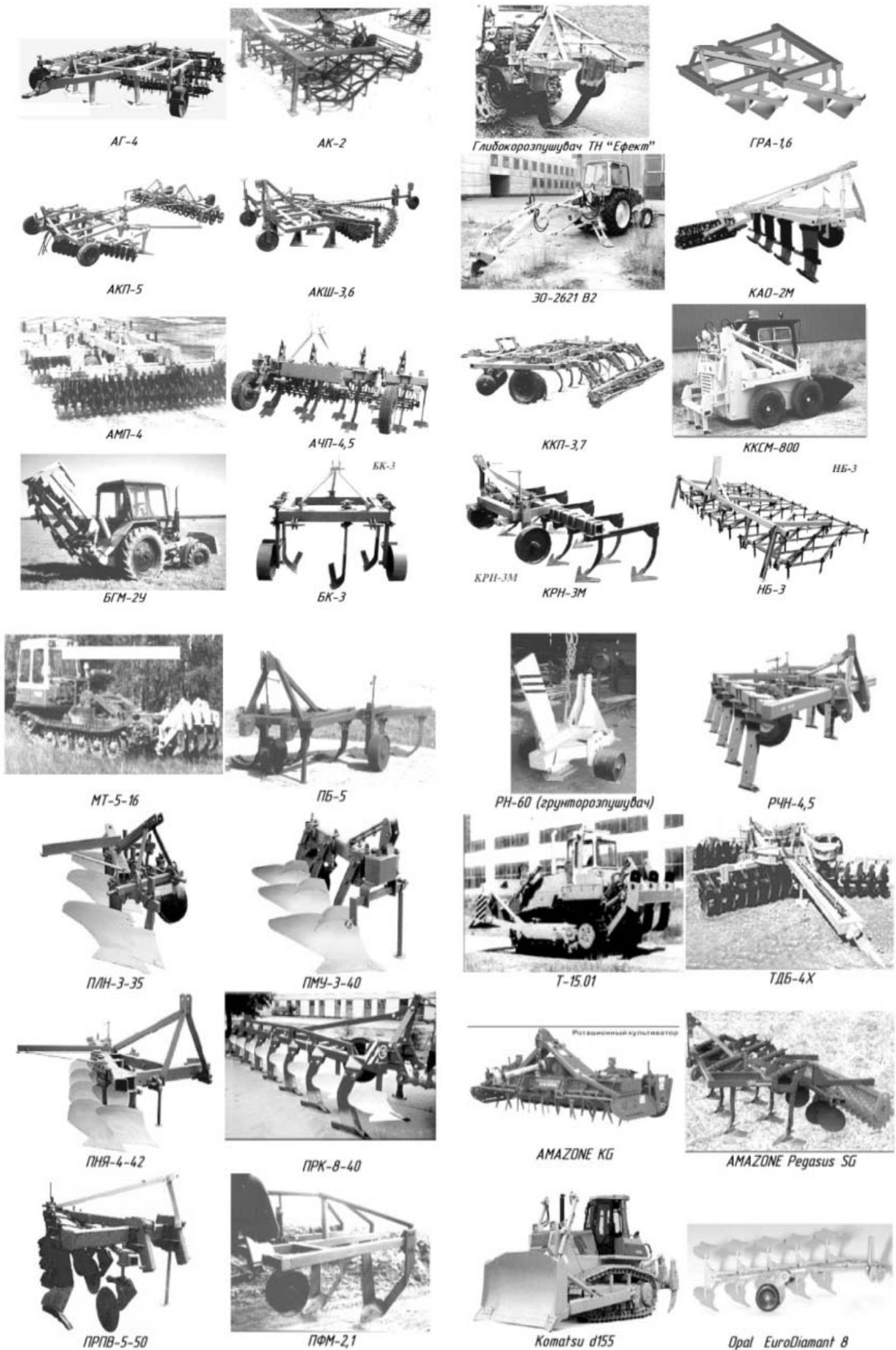


Рис. 28.1. Основные промышленные почвообрабатывающие механизмы



Рис. 28.2. Основные недостатки традиционного глубокого рыхления почвы

28.2. Общая характеристика условий Волынского Полесья

28.2.1. Основные физико-географические особенности. Климат Волынского Полесья Украины умеренно континентальный. Зима мягкая, с частыми оттепелями, лето теплое, с достаточным количеством осадков. Средняя температура января $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рекордные температуры воздуха: самая высокая $+38,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Владимир-Волынский, 11 августа 1946 г.), самая низкая $-38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Владимир-Волынский, 11 февраля 1929 г.).

В среднем за год выпадает 570...620 мм осадков. Эта природная область находится между реками Западный Буг на западе и Случь на востоке. В состав Волынского Полесья входит большая часть Волынской и северо-западная часть Ровенской области. Восточная граница проходит по обнаженным кристаллическим породам Украинского кристаллического щита вблизи городов Корец, Соновка, Клесов Ровенской области.

Основными физико-географическими особенностями Волынского Полесья, которые отличают его от других полесских областей, является наличие меловых пород, залегающих под четвертичными отложениями, значительное развитие ледниковых форм рельефа (Волынский моренный горизонт), наличие карста (озерные котлованы, воронки и др.), широкое развитие долинных ландшафтов, более теплый и влажный климат, чем в других полесских физико-географических областях, значительная распространенность болот и заболоченных земель, высокая лесистость, достигающая 45 % всей площади области.

Из природных богатств Волынского Полесья важнейшими являются: земельные, водные, лесные, минерально-сырьевые и рекреационные ресурсы. С целью улучшения земель здесь проведены значительные мелиоративные мероприятия. Следует отметить, что не все они достигли желаемых результатов. Реки, озера и подземные воды используются для водоснабжения и с рекреационной целью. Общая площадь лесов Волынского Полесья превышает 2300 тыс. га. Из полезных ископаемых используется минеральное сырье для строительных материалов – мергель, мел, глины, пески и, особенно, базальты (Ровенская область), а из горючих – торф.

Волынское Полесье – одна из наиболее увлажненных, покрытая природной растительностью и заболоченных физико-географических областей Украинского Полесья. Благодаря распространению трещиноватых меловых пород, перекрытых маломощным слоем антропогенных отложений, здесь развиваются карстовые процессы. Влияние карбонатных пород проявляется физико-химическими свойствами имеющихся в области моренно-водно-ледниковых, долинно-террасных, песчано-холмистых полесских ландшафтов, щелочно-болотных и болотных пойменных комплексов.

В связи с неоднородностью рельефа и геологического строения территории формирование почвенных вод и условия их залегания разные. На Полесье почвенные воды формируются за счет атмосферных осадков, притока подземных и поверхностных вод с территории Лесостепи. Низменный характер рельефа на данной территории – причина того, что почвенные воды гидравлически связаны с речными, которые проникают в берега во время наводнения и возвращаются в реки во время меженного уровня. Этому способствует и преобладающий песчаный состав пород полесских водоразделов.

Волынское Полесье Украины находится в южной части Полесской низменности с абсолютными отметками 150...200 м и малыми уклонами поверхности (менее 0,0008). При слабо выраженном микрорельефе здесь развит аккумулятивный мезорельеф, образованный преимущественно неравномерными ледниковыми отложениями и действием ветра.

Неровностью рельефа Полесской низменности объясняется разный уровень залегания почвенных вод. На повышенных участках он может составлять 3...5 м и глубже, в пониженных 0,5...1,0 м, а на болотах 0,2 м или даже выходить на поверхность. Среди почв, переувлажненных почвенными водами, притекающими со стороны, можно выделить дерново-подзолистые глинисто-песчаные почвы, расположенные у склонов моренной гряды, почвы, подстилаемые на глубине 1,0...1,5 м разрыхленными мергельно-меловыми отложениями, а также луговые глинистые супесчаные почвы.

28.2.2. Физические и водные свойства почв, их соответствие агротехническим требованиям. Как отмечалось, Волынское Полесье Украины – это плоская песчано-болотная равнина с близким залеганием к дневной поверхности грунтовых вод и с незначительным их стоком. Регион характеризуется достаточно умеренным климатом и неравномерным количеством атмосферных осадков в разные периоды года. Почвенным фоном региона служат дерново-подзолистые глинисто-песчаные или супесчаные почвы, дерновые глеевые глинисто-песчаные и луговые глеевые супесчаные.

В зоне Полесья в летний период из-за изменчивости погодно-климатических условий местности переувлажнение почв чередуется с нехваткой влаги. Влияние дренажа на минеральные переувлажненные почвы неоднозначно. После уменьшения избыточного увлажнения в пахотном слое за счет регулярной обработки формируются благоприятные свойства, а в более глубоких – оглеенных и уплотненных слоях почвы при осушении они сохраняются и нередко даже ухудшаются.

С целью повышения эффективного плодородия почв Западного Полесья осуществляют комплекс агромелиоративных мероприятий, который позволяет изменить большинство природных признаков и свойств почв и отражается на их составе, строении профиля, формировании почвенных режимов, количества и качества почвенной органики. В настоящее время основным способом мелиорации минеральных переувлажненных почв является осушение. Начиная с 60-х годов прошлого века для осушения таких почв применяют трубчатый гончарный или пластмассовый дренаж.

В минеральных почвах легкого гранулометрического состава осушение вызывает значительные изменения их влагообеспеченности во влажные и засушливые периоды вегетации, что отражается на их водно-физических свойствах. И хотя в пахотном горизонте с помощью регулярной обработки поддерживается в целом благоприятная для выращиваемых сельскохозяйственных культур структура почвы, в более глубоких ее горизонтах, оглеенных и уплотненных, с низкой скважностью и аэрацией, после осушения негативные свойства сохраняются и усиливаются. Так, иллювиальный песчано-суглинистый горизонт дерново-подзолистых супесчаных почв при высыхании уплотняется, а общее снижение влажности после осушения, кроме положительного влияния, имеет ощутимый негативный эффект из-за значительного уплотнения подпахотных горизонтов.

В зависимости от генезиса и гранулометрического состава переувлажненных минеральных почв Западного Полесья осушение влияет на их плотность неодинаково [8]. Наиболее резкие изменения наблюдаются в иллювиальном горизонте дерново-подзолистых глеевых супесчаных почв на глубине 0,37...0,70 м. Плотность здесь увеличивается на 0,18 т/м³, что значительно превышает НСР₀₅ = 0,11 т/м³. В этом горизонте плотность наибольшая, она составляет 1,81 т/м³ (табл. 28.1).

В дерново-подзолистых глинисто-песчаных почвах также наблюдается значительное увеличение плотности в иллювиальном горизонте (на 0,15 т/м³), а на глубине 0,2...0,3 м разница не превышает НСР₀₅. В слоях почвы 0,6...0,9 м и 0,9...1,2 м плотность не меняется, а в пахотном горизонте проявляется слабая тенденция к ее уплотнению (табл. 28.1).

При длительном сельскохозяйственном использовании земель, вследствие распашки на постоянную глубину и многократного воздействия ходовых частей сельскохозяйственных и транспортных машин, происходит оседание вымытых из верхнего разрыхленного горизонта иловатых частиц, почва уплотняется в 1,2...1,4 раза на глубину до 0,4...0,6 м (в некоторых случаях до 1,25 м). В колеях колесных тракторов типа Т-150К плотность почвы на глубине 0,2...0,3 м может увеличиваться на 0,18 т/м³ по сравнению с уплотненной почвой и достигать 1,3...1,4 т/м³. При этом резко ухудшается водно-воздушный режим, в 3...4 раза возрастает твердость, в 3...5 раз уменьшается водопроницаемость почвы.

**Влияние осушения на плотность переувлажненных минеральных почв
Западного Полесья [8]**

Генетический горизонт и его мощность, м	Глубина отбора образцов, м	Плотность, т/м ³		НСП ₀₅ , т/м ³
		осушенные	богара	
Дерново-подзолистые глеевые глинисто-песчаные				
<i>HE</i>	0 ... 0,2	1,53	1,49	-
<i>Pegl</i> 0,2 ... 0,3	0,2 ... 0,3	1,67	1,60	0,07
<i>Pugl</i> 30 ... 60	0,3 ... 0,6	1,77	1,62	0,10
<i>Igl</i> 60 ... 90	0,6 ... 0,9	1,72	1,71	-
<i>Pgl</i> > 90	0,9 ... 1,2	1,68	1,66	-
Дерново-подзолистые глеевые супесчаные				
<i>HE</i> 0 ... 0,22	0 ... 0,22	1,41	1,47	-
<i>Egl</i> 0,22 ... 0,37	0,22 ... 0,37	1,72	1,61	0,09
<i>Igl</i> 0,37 ... 0,7	0,37 ... 0,7	1,81	1,63	0,11
<i>Pgl</i> > 0,9	0,9 ... 1,2	1,69	1,67	-
Дерновые глеевые глинисто-песчаные				
<i>H0</i> ... 0,35	0 ... 0,35	1,29	1,20	0,08
<i>Hpgl</i> 0,35 ... 0,5	0,35 ... 0,5	1,65	1,63	0,12
<i>Phgl</i> 0,5 ... 0,65	0,5 ... 0,65	1,76	1,62	-
<i>Pgl</i> > 0,65	0,65 ... 1,0	1,72	1,69	-

Особенно неблагоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур образуются в результате длительного возделывания на одну и ту же глубину плоскими лемехами плугов и плоскорезов, что приводит к формированию подпахотной подошвы высокой плотности с малым количеством микропор. С увеличением плотности грунтов при осушении соответственно уменьшается их пористость (табл. 28.2).

Таблица 28.2

Влияние осушения на пористость переувлажненных минеральных почв Волынского Полесья

Генетический горизонт	Глубина слоя, м	Общая скважность, %		НСП ₀₅ , %
		осушенные	неосушенные	
Дерново-подзолистые глеевые глинисто-песчаные				
<i>HE</i>	0 ... 0,2	41,5	40,8	-
<i>Pegl</i>	0,2 ... 0,3	39,3	41,1	2,0
<i>Pugl</i>	0,3 ... 0,6	36,7	39,0	1,5
<i>Pgl</i> > 90	0,6 ... 0,9	39,6	39,5	-
Дерново-подзолистые глеевые супесчаные				
<i>HE</i>	0 ... 0,22	41,9	39,4	-
<i>Egl</i>	0,22 ... 0,37	40,1	38,2	1,8
<i>Igl</i>	0,37 ... 0,7	33,0	37,0	2,4
<i>Pgl</i>	0,9 ... 1,2	37,8	38,4	-
Дерновые глеевые глинисто-песчаные				
<i>H</i>	0 ... 0,35	41,0	40,5	-
<i>Hpgl</i>	0,35 ... 0,5	38,2	39,1	-
<i>Phgl</i>	0,5 ... 0,65	36,3	38,5	1,9
<i>Pgl</i>	0,65 ... 1,0	39,5	39,2	-

Уменьшение пористости до 33 % в иллювиальном горизонте дерново-подзолистых супесчаных почв, осушаемых дренажем, характеризует их как неблагоприятные, чрезмерно уплотненные. Песчано-среднесуглинистый гранулометрический состав этого горизонта приводит к неблагоприятной дифференцированной пористости и, в частности, к уменьшению объема активных воздушно-проводящих пор, что дает в результате нарушение нормального газообмена. Если плотность пахотного горизонта почвы будет постоянно регулироваться приемами обработки, то в подпахотных горизонтах с первых лет осушения она будет оставаться повышенной. Уменьшение влажности и уплотнение почв способствуют увеличению их твердости (удельного сопротивления сжатию) (табл. 28.3).

В подпахотных горизонтах всех осушаемых почв наблюдается резкое повышение твердости (колебание объясняется разницей во влажности). На глубине 0,7...1,0 м, где влажность и плотность осушенной и неосушенной почвы мало отличаются, твердость практически одинакова. Увеличение твердости почвы при осушении негативно влияет на развитие сельскохозяйственных культур. Глинистые горизонты после высыхания становятся преградой для развития и функционирования корневой системы культурных растений.

Влияние осушения на твердость минеральных почв Волынского Полесья, т/м²

Глубина слоя, м	Осушенные	Неосушенные	НСР ₀₅
Дерново-подзолистые глеевые глинисто-песчаные			
0...0,2	80	70	-
0,2...0,3	250	90	30
0,3...0,7	290	120	70
0,6...0,9	140	130	-
Дерново-подзолистые глеевые супесчаные			
0...0,22	140	100	-
0,22...0,37	300	190	50
0,37...0,7	420	250	40
0...0,22	160	130	-
Дерновые глеевые глинисто-песчаные			
0...0,35	110	80	-
0,35...0,45	360	180	90
0,45...0,60	370	220	60
0,70...1,0	150	14000	-

Известно, что большинство сельскохозяйственных растений лучше развиваются при твердости почвы 150... 250 т/м². Если же твердость увеличивается до 350 т/м², они развиваются хуже, а при большей твердости вообще не растут. Следовательно, для поддержания и тем более повышения плодородия осушаемых почв надо применять меры по уменьшению твердости их корнеобитаемого слоя.

В результате осушения меняются также фильтрационные свойства почв. Приведенные в таблице 28.4 данные констатируют четко выраженную тенденцию к уменьшению водопроницаемости после осушения. При уплотнении почвы фильтрация ее может уменьшиться в 2...5 раз.

Водопроницаемость почв в значительной степени зависит и от приемов их обработки, содержания органического вещества, вида выращиваемых растений. При этом целинные и залежные земли характеризуются повышенной фильтрацией по сравнению с пахотными.

Таблица 28.4

Изменение водопроницаемости почвы при осушении [8]

Состояние почвы по осушению	Коэффициент фильтрации с поверхности, м/сутки
Дерново-подзолистые глеевые глинисто-песчаные	
Осушенные почвы	0,15
Неосушенные почвы	0,21
Дерново-подзолистые глеевые супесчаные	
Осушенные почвы	0,007
Неосушенные почвы	0,011

Следовательно, при осушении минеральных супесчаных и глинисто-песчаных почв увеличивается их плотность и твердость, уменьшается скважность и водопроницаемость. В результате осушения повышается твердость особенно подпахотного горизонта почвы.

Итак, водно-физические свойства дерново-подзолистых почв и после дренирования остаются в целом неблагоприятными, а поэтому требуют обязательного применения сопутствующих с дренированием агро-мелиоративных мероприятий (глубокое рыхление, кротование, щелевание). При этом имеет место и неэффективная работа дренажа, обусловленная слабой водопроницаемостью подпахотных горизонтов и дренажной засыпки, а также недостаточной окультуренностью пахотного горизонта.

28.3. Способы и средства глубокого рыхления осушаемых минеральных почв

28.3.1. Обоснование целесообразности применения глубокого рыхления. В связи с неблагоприятными водно-физическими свойствами, прежде всего подпахотных горизонтов, осушаемых дерново-подзолистых почв Волынского Полесья, что негативно влияет на их влагообеспеченность, а значит, и плодородие, неоднозначным влиянием осушения на почвенные процессы при их освоении и использовании рекомендуется одновременно с устройством дренажа проводить ряд агро-мелиоративных мероприятий, направленных на увеличение аккумуляционной способности активного слоя почвы, улучшение поверхностного и внутрипочвенного стока, обогащение ее питательными элементами.

Отсюда, по аналогии с [21], вытекают следующие пути улучшения работы дренажных систем в слабоводопроницаемых почвах:

- проведение агромелиоративных мероприятий, усиливающих приток воды к дрене из подпахотных горизонтов;
- оструктурирование подпахотного горизонта, что позволяет создавать окультуренный, хорошо фильтрующий пахотный слой мощностью до 0,4 м;
- улучшение водопроницаемости траншейной засыпки;
- планировка поверхности, что позволяет улучшить условия отвода и сократить продолжительность поверхностного стока.

Наиболее эффективным из таких мероприятий для дерново-подзолистых почв является их глубокое рыхление.

Улучшение условий движения гравитационной влаги под влиянием глубокого рыхления в первые годы усиливает дренажный сток в 2...2,5 раза, что ускоряет снижение УГВ. Выявлена положительная роль глубокого рыхления на накопление в почве подвижных форм азота, фосфора и калия. Глубокое рыхление значительно улучшает микробиологический режим корнеобитаемого слоя почвы в целом.

Целесообразность применения глубокого рыхления при осушении дерновых и дерново-подзолистых почв подтверждена опытом его применения на осушаемых и орошаемых землях как в Украине, так и в различных регионах ближнего и дальнего зарубежья [21 и др.].

Одновременно с глубоким рыхлением рекомендуется вносить удобрения и химические мелиоранты, которые стабилизируют и улучшают агрохимические свойства почвы. Наиболее изученными и доступными для применения в качестве химических мелиорантов являются известняковые материалы всех видов и поликомплексы. Внесение известковых материалов эффективно на кислых почвах. Дозу их внесения определяют по полной гидролитической кислотности с учетом мощности слоя почвы, куда они будут внесены. Внесение извести в пахотные горизонты снижает кислотность почв, значительно улучшает их агрохимические свойства, способствует увеличению в 2...3 раза суммы поглощенных оснований.

Комплекс мелиоративных работ с глубоким рыхлением рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- 1) культуртехнические мероприятия;
- 2) строительство осушительной системы;
- 3) вспашка на глубину гумусного слоя;
- 4) дискование тяжелой дисковой бороной или фрезерование;
- 5) планирование поверхности;
- 6) глубокое рыхление;
- 7) внесение удобрений.

Глубокое рыхление, которое выполняют при закладке дренажа, называют *капитальным*. Это рыхление эффективно в относительно слабоводопроницаемых почвах, коэффициент фильтрации подпахотных горизонтов которых на глубине 0,3...0,4 м менее 0,3 м/сут. Периодически, через определенные промежутки времени, с целью поддержания благоприятных водно-физических свойств осушенных почв, глубокое рыхление повторяют. Такое рыхление называют *эксплуатационным*. Эксплуатационное рыхление также проводят для разрушения подпахотной подошвы, которая образуется в результате уплотнения почв сельскохозяйственной и транспортной техникой.

28.3.2. Параметры глубокого рыхления. Технологическая эффективность глубокого рыхления имеет следующие основные аспекты по его реализации различными средствами и способами: во-первых, это качество рыхления почвы; во-вторых, это энергозатраты на его выполнение; в-третьих, уровень и характер влияния рыхления на водно-физические и агромелиоративные свойства почвы и т. п. Поэтому к основным параметрам глубокого рыхления относятся: глубина, интервалы, расстояние между полосами, полнота.

Глубина рыхления зависит от глубины залегания и мощности слабоводопроницаемых почвенных горизонтов. Она должна быть на 0,2...0,3 м меньше минимальной глубины заложения дрен, то есть на 0,6...0,7 м. При рыхлении на глубину 0,6...0,7 м проводят химические анализы почвы в зоне рыхления. При обнаружении вредных элементов глубину рыхления рекомендуется уменьшить.

На почвах с водоупорными горизонтами и умеренной переувлажненностью, размещенных на слабодренированных равнинах и выровненных водоразделах, глубина рыхления может составлять 0,5...0,6 м. Рыхление осушаемых почв на глубину 0,6...0,7 м на фоне закрытого дренажа улучшает их водно-физические свойства и повышает урожайность выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Установлено, что увеличение глубины рыхления с 0,4 до 0,6 м, как правило, не влияет на плотность и общую скважность пахотного горизонта почвы. В слое почвы 0,25...0,4 м плотность может

уменьшаться, а скважность расти (около 5 % в первый год и 2...3 % через три года). Более значимое действие происходит в слое 0,4...0,6 м, в котором плотность уменьшается до 10 %, а общая скважность растет на 15...20 %.

Глубина рыхления влияет на работу дренажа. Это проявляется в некотором увеличении дренажного и уменьшении поверхностного стока. Наибольшее влияние глубина рыхления имеет в первый год после его проведения, в дальнейшем его влияние уменьшается.

Улучшение водно-физических свойств почвы и усиление действия дренажа с увеличением глубины рыхления оказывает положительное влияние на урожайность выращиваемых сельскохозяйственных культур на осушаемых землях.

На эффективность глубокого рыхления влияет конструкция рабочего органа. Использование орудий с пассивными рабочими органами требует больших тяговых усилий, при этом одним из критериев обоснования глубины рыхления является также выбор типа трактора-тягача и рыхлителя.

На переувлажненных почвах с уклонами поверхности до 0,01 выполняют сплошное рыхление. Интервалы рыхления (расстояние между рабочими органами рыхлителя) зависят от водно-физических свойств почвы и конструкции рабочих органов рыхлителя. На почвах с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут. расстояние между рабочими органами должно быть 0,6...0,8 м. Его можно увеличить до 1...1,2 м при уменьшении плотности подпахотного горизонта и наличии водопроницаемых слоев.

В производственной практике считается, что качество выполнения рыхления лучшим образом характеризуется по показателям *полноты рыхления* и *дополнительной влагоемкости* разрыхленного грунта [21]. Качество глубокого рыхления почвы будет характеризоваться разным эффектом последствия при применении различных способов и средств. Традиционно полнота рыхления характеризуется отношением площади разрыхленного грунта в поперечном сечении полосы захвата рабочих органов рыхлителя к сумме площадей разрыхленной и неразрыхленной почвы в этом же поперечном сечении согласно расчетным схемам исследуемых технологий:

$$R = \frac{F_p}{F_p + F_n}, \quad (28.1)$$

где F_p – площадь разрыхленной почвы в поперечном сечении полосы захвата рабочих органов рыхлителя;

$F_p + F_n$ – сумма площадей разрыхленной и неразрыхленной почвы в поперечном сечении.

Поскольку при таком определении *коэффициент полноты рыхления* не позволяет оценивать сравнительную эффективность разных технологий и технических средств с разной степенью глубокого рыхления почвы, целесообразно определять его не через отношение площади разрыхленной почвы к площади поперечного сечения захвата рабочих органов, а через объем почвы, разрабатываемой на площади 1 га со сравнительной глубиной 1 м:

$$R_c = \frac{V_{pc}}{V_m} = V_{pc}^{\circ} \cdot n_{pc} \cdot 10^{-4}, \quad (28.2)$$

где R_c – коэффициент полноты рыхления почвы по соответствующей технологии; V_{pc} – объем разработанной почвы на массиве рыхления 1 га по соответствующей технологии, m^3 ; V_{pc}° – объем разработанной почвы на данном массиве за один проход рабочего органа соответствующей технологии рыхления, m^3 ; V_m – сравнительная величина объема почвы на данном массиве с глубиной 1 м, $V_m = 10000 m^3$; n_{pc} – количество проходов рыхлителя на данном массиве.

Объем разрыхленной почвы за один проход V_{pc}° и количество проходов рыхлителя n_{pc} определяются с учетом параметров его рабочего органа (пункт 28.4).

Дополнительная влагоемкость характеризует увеличение аккумулирующей способности активного корнеобитаемого слоя почвы h (0,5...0,6 м) за счет уменьшения его плотности и соответствующего увеличения пористости при глубоком рыхлении и определяется как

$$\Delta Wh_p^0 = Wh_p^0 - Wh_n^0, \quad m^3 / га, \quad (28.3)$$

где ΔWh_p^0 – показатель дополнительной влагоемкости слоя почвы h как разница изменения максимального запаса продуктивной влаги почвы после Wh_p^0 и до Wh_n^0 его рыхления.

В свою очередь, показатели максимального запаса продуктивной влаги почвы определяются общепринятыми экспериментальным или расчетным методами.

28.3.3. Технические средства глубокого рыхления. За последние годы проведена значительная работа по конструированию, изготовлению, испытанию и внедрению средств глубокого рыхления – агромелиоративных глубокорыхлителей [5, 14, 18 и др.].

В зависимости от принципа действия и конструктивных особенностей все они подразделяются на две группы: с активным и пассивным рабочими органами.

Активные глубокорыхлители относятся к импульсно-силовым машинам. При рыхлении почвы они используют различные виды вибрации и ударных нагрузок на грунт. Рабочий орган активного глубокорыхлителя разрыхляет грунт за счет потока энергии, поступающей от автономного источника, а продольное перемещение осуществляет за счет тягового усилия базового трактора.

Рабочий орган пассивного глубокорыхлителя разработку грунта и продольное его перемещение осуществляет за счет только тягового усилия базового трактора.

Активные глубокорыхлители сложнее пассивных по конструкции и в эксплуатации. Они эффективны только на твердых (скальных) и плотных почвах, а на относительно мягких не мерзлых грунтах преимуществ перед пассивными практически не имеют. Поэтому наибольшее распространение получили пассивные глубокорыхлители. Они надежны, просты по конструкции и в эксплуатации, но требуют более мощных тракторов.

Согласно литературным источникам [21] при глубоком рыхлении почвы традиционными средствами и технологиями выделяют следующие характерные зоны (рис. 28.3):

- 1) следы обеих стоек глубокорыхлителя шириной 5...6 см каждый, имеющих в нижних частях расширение по форме лемеха шириной 20...25 см и высотой 10...15 см, заполненных комками и агрегатами почвы, не более 25...30 мм;
- 2) сплошного рыхления, заполненная комками более 50 мм, смещенных относительно друг друга, между которыми есть большое количество некапиллярных пор;
- 3) частичного рыхления, пронизанная трещинами.

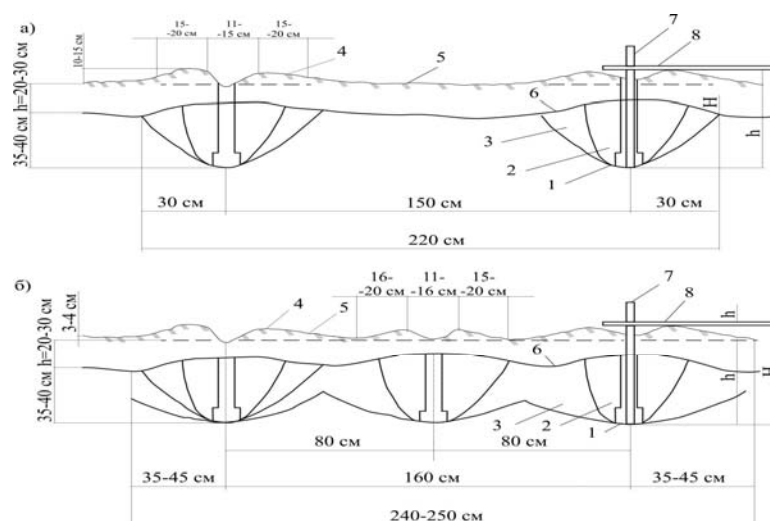


Рис. 28.3. Схема расположения рабочих органов традиционных рыхлителей

(а) двухстоечного и (б) трехстоечного:

1 – след стойки рыхлителя; 2 – зона сплошного рыхления; 3 – зона частичного рыхления; 4 – валик выпучивания почвы; 5 – поверхность земли; 6 – подошва пахотного слоя; 7 – металлический щуп; 8 – линейка

Рабочими органами пассивных глубокорыхлителей, осуществляющих *щелевое рыхление*, является один или несколько мощных ножей-стоек (рис. 28.4) или периметрового (рис. 28.5) типов, которые расчлняют массив грунта разрезанием.

После прохода пассивного глубокорыхлителя РУ 65-2,5 или аналогичных ему РУ-45, ЖК-1,2, ВР-80 и РНТ-0,8 разрыхленный грунт в различных зонах имеет разную степень разрыхления (табл. 28.5).

Глубокорыхлители стоечного типа (одно- и многостоечные) во время прохода выпучивают поверхность почвы (рис. 28.3) на 10...15 см вверх в зонах 15...20 см по обе стороны от следов движения стоек, а в промежутках между ними – на 3...4 см. Степень рыхления почвы в зоне у стоек 8...12 %, в зоне между стойками – 40...60 %.

Распределение уровней рыхления по зонам свидетельствует о том, что разрезающий стояк образует щель, раздвигает почву в стороны, запрессовывая и затирая ее в боковые стенки щели. Это приводит к ухудшению качества рыхления и к значительному увеличению сопротивления перемещения глубокорыхлителя.

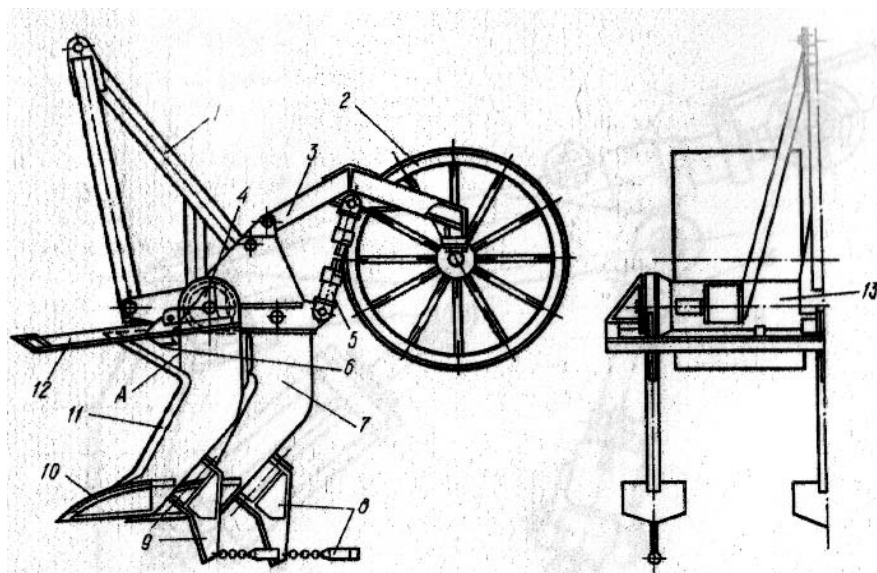


Рис. 28.4. Схема глубокорыхлителя универсального РУ.65.2,5:

1 – рабочий орган; 2 – колесный ход; 3 – дышло; 4 – обойма; 5 – регулятор глубины; 6 – ножи-дернорезы; 7 – съемные стойки; 8 – кротователи; 9 – ножи; 10 – лемеха; 11 – ножи-стойки; 12 – щит; 13 – трубчатая балка

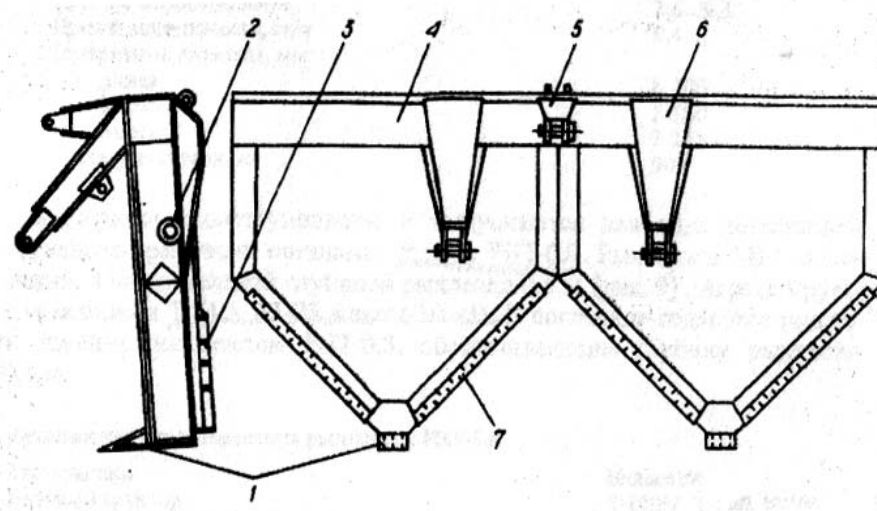


Рис. 28.5. Схема передней рамы глубокорыхлителя РГ-0,8А:

1 – долото; 2 – место крепления опорного колеса; 3 – устройство; 4 – несущие балки; 5, 6 – кронштейны крепления к задней навеске трактора; 7 – боковые ножи

Таблица 28.5

Техническая характеристика РУ.65.2,5, РУ-45 и РГ-0,8А

Показатели	РУ.65.2,5	РУ-45	РГ-0,8А
Тип рыхлителя	навесной	навесной	навесной
Агрегатируется с трактором класса, кН	50, 60	50, 60	Т-130Б; Т-100МБ
Количество рыхлительных стояков, шт.	2 ... 3	2	2 ... 3
Ширина рыхления, м	2,4 ... 2,5	0,5 ... 1,5	до 3,5
Максимальная глубина рыхления, м	0,65	0,65	0,5 ... 0,8
Производительность, га/ч	0,6	0,6	0,55
Масса, кг	1250	250	2300

К рабочим органам пассивного типа относятся также периметровые (V-образные, U-образные и др.) рабочие органы. Установлено, что при рыхлении почвы периметровым рабочим органом вертикальные щели после его прохода закрываются, поэтому просыпания грунта с гумусового слоя в щели не происходит. При этом объем почвы, ущемленный между боковыми ножами, деформируется, а фронт деформации направлен от нижнего лемеха и боковых ножей вверх, к «дневной» поверхности. После прохода рабочего органа поднятый грунт оседает под действием собственного веса и при этом разрыхляется.

Периметровым рабочим органам свойственны те же недостатки, что и стоечным, а именно: за-прессовка и затирка почвы в боковые стенки прорезанных щелей, большое сопротивление перемещению, невозможность прогнозировать и получать необходимое качество рыхления в горизонтах вертикального профиля взрыхленной почвы.

С целью устранения недостатков традиционных глубокорыхлителей разработаны и предлагаются к производственному применению (В. Ф. Ткачук, А. Л. Романовский, С. В. Кравец и др.) [4, 5, 10] новые по принципу действия, энергосберегающие рабочие органы для глубокой резки и рыхления почвы – *многоярусные землеройные рабочие органы* (рис. 28.6).



Рис. 28.6. Общий вид многоярусного плужного одностороннего рабочего органа

Многоярусные землеройные рабочие органы могут быть успешно использованы для укладки в подземный горизонт различных линейно-протяженных объектов (линий дренажа, линий связи и т. д.), а также достаточно эффективны при проведении агрономелиоративных мероприятий (щелевание, глубокое рыхление узкими полосами, закладка в наддренные горизонты жгутов и т. д.).

Многоярусными они называются потому, что их режущая часть непрерывная, так как образована несколькими почвообрабатывающими элементами, которые разнесены в профильной плоскости по вертикали и горизонтали и закреплены на общем корпусе таким образом, что каждый высший почвообрабатывающий элемент во время движения рабочего органа опережает нижерасположенный (рис. 28.7). Поэтому при работе каждый предыдущий (вышерасположенный) элемент, вырезая и транспортируя «свой» слой почвы, создает необходимые условия для работы следующему (нижерасположенному).

Характеристика многоярусно-плужного трубоукладчика-разрыхлителя приведена в таблице 28.6.

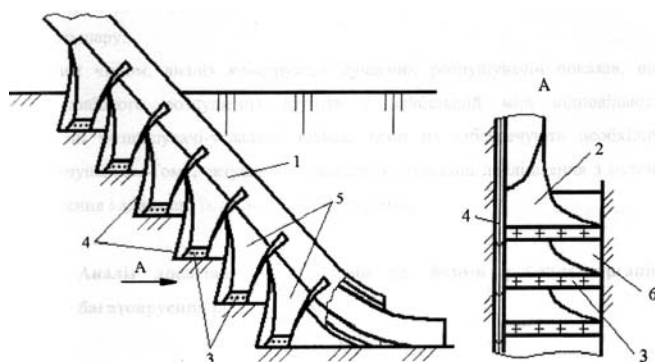


Рис. 28.7. Общий вид многоярусного плужного одностороннего рабочего органа:

1 – трубонаправляющий тракт; 2 – подъемно-транспортирующая поверхность (полка); 3 – подрезающий нож; 4 – разрезающий нож; 5 – проходное окно; 6 – длинномерный элемент

Техническая характеристика многоярусно-плужного трубокладчика-рыхлителя

Показатели	Значение
Тип рыхлителя	Навесной, стоечный, левосторонний
Агрегируется с трактором класса, кН	50; 60
Количество ярусов	3
Количество стоек-рыхлителей	1
Ширина рыхления одним стояком, мм	450
Максимальная глубина рыхления, мм	800
Производительность, га / ч	1...1,6
Масса, кг	980

Почворазрабатывающими элементами многоярусного рабочего органа могут быть: зуб, нож, лемешно-отвальная поверхность плуга, ковш и т. п. Отсюда названия рабочих органов: многоярусно-ножевой, многоярусно-отвальный, многоярусно-ковшовой и др. Соответственно их конструкция определяется целевым назначением и агротехническими требованиями.

К основным преимуществам таких рабочих органов следует отнести то, что они образуют щель не разрезанием массива грунта, а путем послойной его разработки и транспортировки, избегая работы в зоне упруго-пластических деформаций, значительно уменьшая энергоёмкость процесса рыхления, не запрессовывая и не затирая, в отличие от щелевых рыхлителей типа РУ.65.2,5, РУ-45, РГ-0,8А и др., почву в стенки скважины.

Многоярусно-плужные рыхлители состоят из несущей рамы (рис. 28.7), трубонаправляющего тракта 1, расположенного в профильной плоскости и наклоненного под углом α к горизонту в направлении движения рабочего органа таким образом, что его верхний конец находится впереди нижнего. На трубонаправляющем тракте закреплено несколько почворазрабатывающих элементов – плугов, разнесенных по вертикали и смещенных по горизонтали в направлении движения рабочего органа. Слои почвы под углом $\pi/2$, обтекая трубонаправляющий тракт, проходят через межярусное окно. В дальнейшем слои почвы, пройдя межярусные окна, осуществляют обратное движение на угол $\pi/2$, помещаются в разрыхленном состоянии на длинномерный элемент б (дренажную трубу, жгут и пр.).

Преимуществами многоярусного рабочего органа являются снижение тягового сопротивления до 40 % и рыхление одной из двух боковых стенок щели полкой.

К его недостаткам следует отнести: малую зону рыхления, уплотнение и затирку почвы в одну из двух стенок щели, самовольное смещение рабочего органа при работе в сторону полки (несоблюдение траектории рабочего движения), что требует постоянной коррекции направления движения, потери гумусового пахотного слоя при просыпании его в щель (ее гумусификацию), невозможность целенаправленной дифференциации степени рыхления в генетических горизонтах.

Как показывают практика и накопленный опыт агропроизводства, вертикальный почвенный профиль сельхозугодий должен иметь противоэрозионный верхний слой (0...0,05 м), корнеобитаемый слой (0,05...0,4 м) и нижний фильтрационный слой ($> 0,4...0,6$ м). При этом структура почвы (процентное соотношение по массе групп комков «ценных» и других размеров) каждого из этих слоев должна быть оптимальной в соответствии с назначением каждого из них.

Поскольку как традиционный стоечный глубокорыхлитель (типа РУ-45, РГ-0,8А, РНТ 0,8А и др.), так и более прогрессивный многоярусный плужный рыхлитель не обеспечивают в полной мере такие требования, разработана и предлагается к применению более совершенная конструкция многоярусного желобовидного рыхлителя безотвального типа (В. М.Ткачук, С. В. Кравец, А. П. Рыжий и др.) [9, 18]. Такое техническое решение позволяет послойно улучшить структуру почвы в каждом разрабатываемом горизонте и одновременно дифференцировать степень его рыхления по глубине (рис. 28.8).

Рабочий орган такого многоярусного рыхлителя-оструктуривателя (рис. 28.9 а) состоит из одной или нескольких рам 2, на которых закреплены почворазрабатывающие элементы 1. Пространственное расположение рам и почворазрабатывающих элементов на них в профильной плоскости аналогично расположению трубонаправляющего тракта и почворазрабатывающих элементов рассматриваемого прорезывающего рабочего органа. В лобовой проекции почворазрабатывающие элементы данного рабочего органа расположены на рамах симметрично. Он позволил заменить традиционный способ глубокой разработки почвы «разрезание», на «послойное разрезание», в результате на 40 % и более уменьшилось удельное сопротивление резке почвы, частично, а в некоторых случаях и полностью, устранено спрессовывание почвы.



Рис. 28.8. Общий вид многоярусного рыхлителя-оструктуривателя

Рабочие органы традиционного щелевого и более прогрессивного многоярусного плужного полосового рыхлителей, размеры которых установлены конструктивно, не зависят от условий их работы и не меняются в зависимости от характеристик разрабатываемых почв.

Конструкция и работа почвообрабатывающих элементов рабочего органа рыхлителя-оструктуривателя отличаются от конструкции и работы многоярусно-плужного трубокладчика-рыхлителя. Каждый из них представляет собой комбинированную поверхность (рис. 28.9 б), состоящую из плоского лемеха 3, который плавно переходит в транспортировочную поверхность в виде желоба 4 с переменным радиусом кривизны. Последний уменьшается в направлении движения разрабатываемого слоя почвы.

Благодаря новому принципу рыхления впервые появилась возможность дифференцировать по качеству рыхления почвы и получать желаемую степень ее рыхления в каждом горизонте вертикального профиля почвы в зависимости от структуры и плотности по глубине с сохранением верхнего гумусового горизонта.

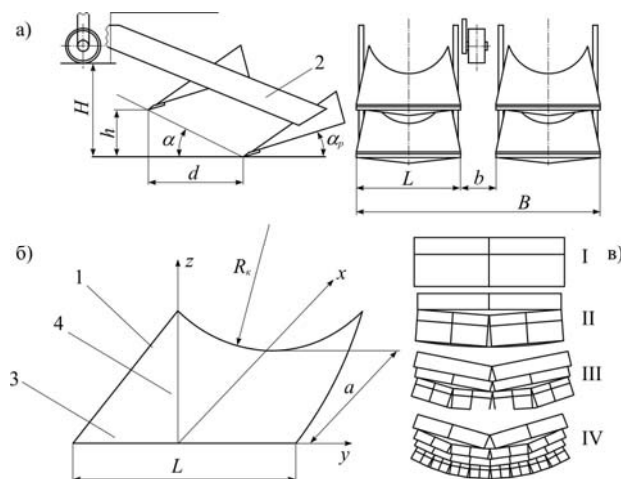


Рис. 28.9. Многоярусный рабочий орган-оструктуриватель (симметричный):

а) схема многоярусного рабочего органа; б) расчетная схема почвообрабатывающего элемента; в) стадии измельчения стружки почвообрабатывающей поверхностью во время ее движения;

1 – почвообрабатывающий элемент; 2 – рама; 3 – лемех; 4 – желоб;

H – глубина рыхления; h – толщина стружки; α – угол наклона рамы к горизонту; α_r – задний угол; B – ширина полосы рыхления; R_k – «конечный» радиус желоба; a – длина желоба; b – расстояние между соседними почвообрабатывающими поверхностями; l – ширина почвообрабатывающей поверхности

Во время рабочего движения рыхлителя-оструктуривателя каждый его почвообрабатывающий элемент 1 лемехом 3 подрезает соответствующий слой почвы. Подрезанная почва, двигаясь желобом переменной кривизны 4, копирует его поверхность и, сгибаясь в лобовой плоскости, разрушается на отдельные агрегаты. Размеры полученных агрегатов определяются «конечным» радиусом кривизны желоба R_k . Подбирая нужный «конечный» радиус желоба рабочего органа, можно получать необходимую степень измельчения грунта в каждом горизонте в зависимости от его плотности.

Таким образом, благодаря новому принципу рыхления впервые появилась возможность управлять процессом рыхления почвы, а именно получать желаемую степень рыхления в каждом горизонте вертикального профиля почвы, то есть дифференцировать структуру рыхления по глубине. Кроме того, данным рабочим органом при необходимости можно осуществлять как полосовое, так и сплошное рыхление. При этом рыхлитель-оструктуриватель имеет удельное сопротивление перемещению при рыхлении на 40 % меньше, чем в традиционных рыхлителях.

Основные показатели многоярусного рыхлителя-оструктуривателя приведены в таблице 28.7.

Таблица 28.7

Техническая характеристика многоярусного рыхлителя-оструктуривателя

Показатели	Значение
Тип рыхлителя	Навесной, трехстоечный, симметричный
Агрегируется с трактором класса, кН	50; 60
Количество ярусов	3
Количество стоек-рыхлителей	3
Ширина рыхления одним стояком, мм	500
Ширина рыхления всеми стояками, мм	2000
Максимальная глубина рыхления, мм	800
Производительность, га / ч	0,5
Масса, кг	450

Таким образом, рассмотренные типы средств глубокого рыхления могут быть использованы для улучшения агрометеорологического состояния осушаемых минеральных почв Волынского Полесья Украины, но обеспечивать при этом разный технологический и экономический эффект.

28.3.4. Технологии глубокого рыхления. Глубокое рыхление переувлажненных почв рекомендуется проводить только в сочетании с дренажем при соблюдении соответствующей технологии работ [20–22].

В зависимости от гидрологических, почвенных и других условий применяют сплошное рыхление, полосное рыхление, сплошное рыхление с кротованием и глубокое рыхление-кротование в виде отдельных полос. Сплошное рыхление почвы – основное, рыхление с кротованием рекомендуется проводить только на устойчивых к кротованию почвогрунтах.

Эффективность глубокого рыхления зависит от многих показателей, одним из которых является выбор трактора-тягача нужной мощности. Не менее важно выполнять глубокое рыхление в оптимальные сроки при рекомендуемой влажности почвы. Целесообразно его выполнять при влажности почвы в разрыхленном слое 60...80 % от предельной полевой влагоемкости (ППВ) или наименьшей влагоемкости (НВ) для осушаемых почв. Глубокое рыхление при влажности ниже оптимальной приводит к ухудшению качества рыхления и увеличению тяговых усилий, увеличивает энергозатратность рыхления почвы.

К технологии глубокого рыхления осушаемых минеральных почв относятся:

- подготовительные работы;
- выполнение глубокого рыхления или глубокого рыхление с внесением химических мелиорантов;
- контроль за качеством проводимых работ.

Перед глубоким рыхлением как на пахотных, так и на необрабатываемых почвах предварительно должно быть выполнено разделение пласта. При этом дернину перед вспашкой дискуют в два следа накрест тяжелой дисковой бороной для лучшего вращения пласта. Внесение удобрений и извести проводят при необходимости согласно агрохимическим показателям.

При выполнении глубокого рыхления важным является вопрос выбора типа рыхлителя и тягача к нему. Выбор типа рыхлителя зависит, главным образом, от особенностей осушаемого объекта: типа почвы, типа и интенсивности водного питания, рельефа, степени кислотности почв и количества каменных включений.

По аналогии и с учетом рекомендаций [21] при выборе типа рыхлителя можно руководствоваться рекомендациями, представленными в таблице (табл. 28.8).

Для рационального использования рыхлителя при выполнении глубокого рыхления следует правильно определять направление выполнения рыхления, длину и ширину загонок. Направление рыхления должно быть выбрано перпендикулярно направлению укладки дренажных линий на осушаемом участке. На мелиорируемых полях с наклонными поверхностями рекомендуется проводить рыхление так, чтобы оно пересекалось с направлением расположения дрен.

Условия использования основных типов рыхлителей

№ п/п	Тип рыхлителя	Вид рыхления	Категория почвы	Каменность разрыхляемого слоя, м ³ /га
1	РУ.65.2,5 (2 стойки)	щелевое	III	до 25
2	РУ.65.2,5 (3 стойки)	щелевое	II	до 25
3	ЖК-1,2	щелевое	II-III	до 25 ... 30
4	ВР-80 (2 стойки)	щелевое	II	до 10 ... 15
5	РГ-0,8А (2 стойки)	щелевое	II-III	до 15 ... 20
6	РГ-0,8А (3 стойки)	щелевое	II-III	до 10 ... 15
7	РНТ-0,8А (2–3 стойки)	щелевое	II	до 10 ... 15
8	Многоярусно-плужный разрыхлитель	полосное	I-III	до 10 ... 15
9	Многоярусный рыхлитель-оструктуриватель	сплошное	I-III	до 10 ... 15

Глубокое рыхление проводят тогда, когда в слое разрыхляемого почвогрунта отсутствует верховодка, а пахотный и подпахотный горизонты имеют оптимальную влажность. Влажность почвы определяют перед проведением рыхления традиционными методами.

Согласно рекомендациям [21] в зависимости от конкретных условий и типа рыхлителя глубокое рыхление проводят по таким известным трем основным схемам движения агрегата: *челночной*, *загоночной* и *перекрестной* (рис. 28.10).

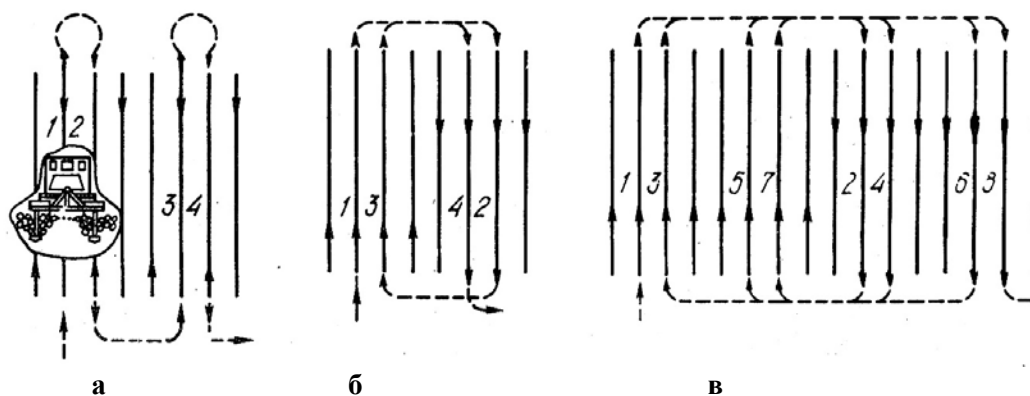


Рис. 28.10. Технологические схемы движения рыхлителя:

а – челночная; б – загоночная; в – перекрестная

Глубокое рыхление осушенных почв при качественном его исполнении значительно улучшает их водно-физические свойства почв и повышает эффективность действия осушительной сети. Контроль качества выполнения глубокого рыхления проводят соответствующие специалисты технического надзора и работники хозяйств. Бессистемное выполнение глубокого рыхления недопустимо.

Глубину рыхления традиционно проверяют щупом и линейкой с учетом вспучивания почвы. Должно быть не менее 5 замеров на 10 га. Для заданной глубины рыхления почвы допускается отклонение не более 10 %.

Химические мелиоранты (известь, фосфорная мука, жидкое комплексное удобрение, полимерные соединения, лигнин и др.), внесенные в почву одновременно с глубоким рыхлением, позволяют увеличить срок его действия, создают необходимые условия для образования водостойкой и пористой почвенной структуры, а также увеличения водопроницаемости почвы.

28.4. Эффективность применения глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах

28.4.1. Объект и условия сравнительных испытаний различных средств и технологий глубокого рыхления. Сравнительные испытания различных средств и технологий глубокого рыхления были выполнены [14 и др.] в течение 2003–2006 гг. на осушаемом массиве «Печаловка», который находится в пользовании ПСП «Мирное» Костопольского района Ровенской области (рис. 28.11). Погодно-климатические, рельефные, геологические, гидрогеологические, геоморфологические и почвенные условия опытного участка являются типичными для физико-географической области Волынского (Западного) Полесья Украины.

Система дренажа на осушаемом массиве устроена со следующими параметрами:

- расстояние между дренами – 10...20 м;
- диаметр гончарных трубок – 0,05 м (регулирующей сети) и 0,075.. 0,1 м (коллекторов);
- глубина заложения дренажа – 0,8...1,2 м;
- проектный уклон – 0,03...0,003;
- длина дрен – 120...140 м.

Почвы объекта исследований представлены дерново-подзолистыми глеевыми супесчаными, сформировавшимися в условиях близкого залегания УГВ. Коэффициент фильтрации пахотного слоя почвы (0...20 см) составляет 0,13...0,4 м/сут., а на глубине 20 см и более – 0,13...0,003 м/сут.

Профиль почвы на протяжении многих лет работы осушительной системы значительных изменений не претерпел. Морфологическое строение дерново-подзолистой глеевой супесчаной почвы представлено в разрезе, что является типичным для территории Волынского Полесья (табл. 28.9).

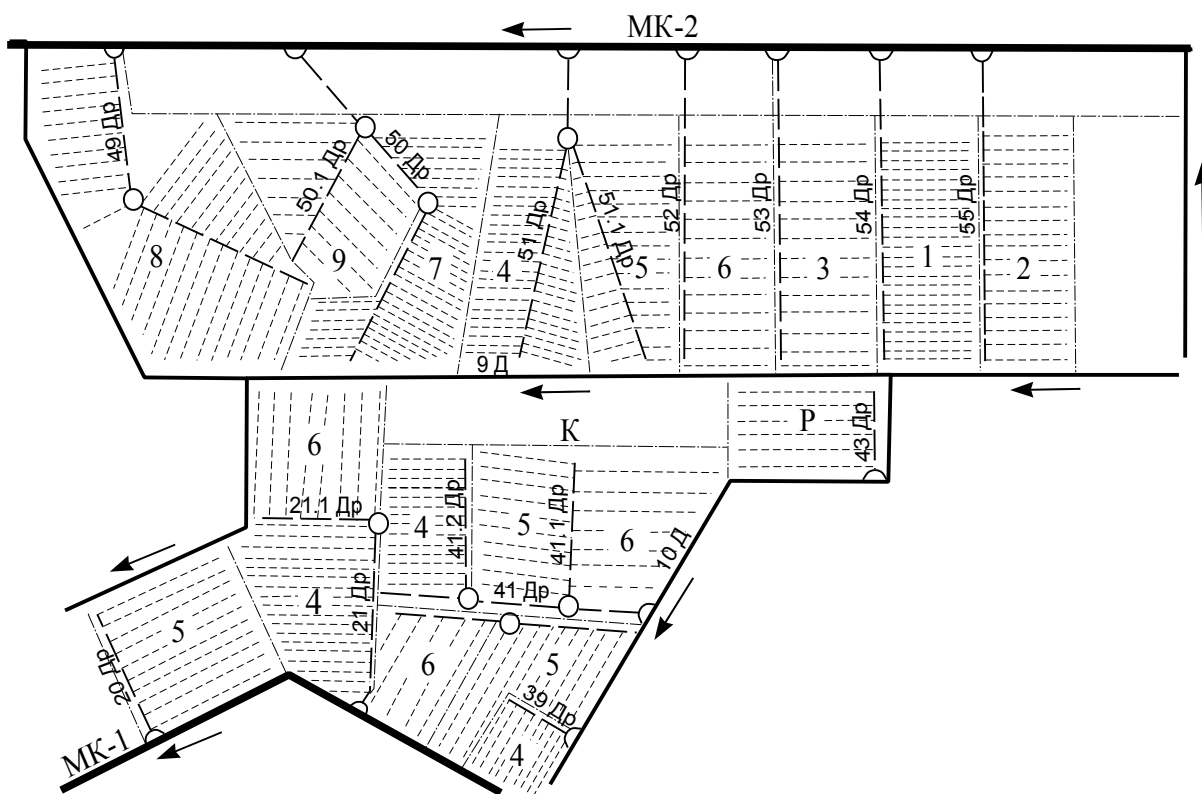


Рис. 28.11. Схема осушаемого массива «Печаловка»

Как видим (табл. 28.9), данный почвенный разрез характеризуется неглубоким залеганием пород меловой системы, что, в свою очередь, перекрыто четвертичными отложениями, которые и являются водоупором.

Таблица 28.9

Геологическое строение разреза дерново-подзолистой почвы (на примере гидромелиоративной системы «Печаловка» Костопольского района Ровенской области)

Описание пород	Глубина залегания, м		Мощность, м
	от	до	
Почвенно-растительный слой $K\phi = 0,6 \pm 0,1$ м / сут	0	0,3	0,3
Супесчано-суглинистые образования 0,3 ... 2,0 – $K\phi = 0,13... 0,02$ м/сут 2,0 ... 3,2 – $K\phi = 0,3... 0,06$ м/сут 3,2 ... 8,5 – водоупор	0,3	8,5	8,2
Мел трещиноватый, в начале интервала трещины закольматированные	8,5	42	33,5
Песчаник с прослойками алевролита	42	120	78

Гранулометрический состав дерново-подзолистой глеевой супесчаной почвы опытного участка существенно влияет на водно-физические свойства данного грунта (табл. 28.10). Из таблицы видно, что дерново-подзолистые супесчаные почвы по гранулометрическому составу можно охарактеризовать как почвы средней тяжести, которые тяжелеют с глубиной. Содержание физического песка в

пахотном горизонте достигает 58,3 %, а в подпахотном – 79,8 %. В суглинистом иллювиальном горизонте (50...90 см) наблюдается наибольшее содержание физической глины (24,5 %) и илистых фракций (18,4 %).

Таблица 28.10

Гранулометрический состав дерново-подзолистой супесчаной почвы

Размер фракций, мм	Гранулометрический состав (%) по глубине отбора образцов, см			
	0 ... 30	30 ... 50	50 ... 90	90 ... 120
Физический песок 1 ... 0,05	58,3	79,8	65,1	73,6
Пыль 0,05 ... 0,001	35,8	14,6	15,1	14,5
Ил 0,001 ... 0,0001	5,1	3,9	18,4	11,9
Физическая глина $\geq 0,01$	10,9	14,8	24,5	19,8

Наименьшая влагоемкость (НВ) характеризует способность почвы удерживать влагу. Это очень важный показатель, поскольку по нему можно оценивать степень увлажнения почвы, а также ее дренированность и техническое состояние осушительной системы. При хорошей естественной дренированности или же при достаточно удовлетворительном техническом состоянии осушительной системы влажность почвы редко превышает НВ.

Момент окончания дренажного стока совпадает с установлением в почве влажности, равной ПВ. Влажность выше НВ свидетельствует о неудовлетворительном состоянии дренажа.

Изучение влияния различных способов и средств глубокого рыхления на водно-физические свойства и агрономическое состояние осушаемых минеральных почв, а также улучшение работы существующей дренажной системы в целом, технологически было решено [14] путем проведения сравнительных производственных испытаний различных технологий рыхления (традиционных и новейших):

- щелевое разрыхление – серийным двухстоечным разрыхлителем РУ-45;
 - полосное рыхление – опытным образцом одностоечным многоярусно-плужного рыхлителя-трубоукладчика;
 - сплошное рыхление исследователем образцом многоярусного рыхлителя-оструктуривателя.
- Исследования были проведены по следующим вариантам:
- вариант 1 – щелевое рыхление двухстоечным рыхлителем РУ-45;
 - вариант 2 – полосное рыхление одностоечным многоярусным плужным рыхлителем;
 - вариант 3 – сплошное рыхление многоярусным рыхлителем-оструктуривателем;
 - вариант 4 – контрольный вариант без рыхления.

Контрольным (стандартным) вариантом были приняты участки исследуемой дренажной системы, которые подвергались только обычной вспашке без какой-либо дополнительной обработки. Совокупность четырех участков (трех исследовательских и одного контрольного) составила схему полевых исследований, количество повторностей вариантов было принято 4-кратным.

На достоверность и точность полевых исследований в значительной степени влияют следующие факторы: площадь и форма участков, их взаимное расположение на объекте исследований, количество повторностей вариантов исследований и др.

Планирование полевых участков было проведено весной 2003 г., до начала сельскохозяйственных работ и не мешало их проведению, что позволило разместить все участки вместе в виде так называемого латинского квадрата. Расположение вариантов в квадрате согласно рекомендациям было рендомизировано (спланировано) таким образом, чтобы в каждой строке и в каждом столбце квадрата был полный набор вариантов, но ни один из вариантов не повторялся бы дважды ни в строке, ни в столбце. Это обеспечивало репрезентативность (типичность) исследований и их необходимую точность.

Учитывая параметры исследуемой дренажной системы (глубину заложения и характер расположения дрен, расстояние между ними и т. д.), а также технологические требования при рыхлении опытных участков, было принято, что каждый из полевых участков должен иметь форму вытянутого прямоугольника размером 40×15 м (600 м²). Общее количество полевых участков вместе с контрольными равнялось 16, а их общая площадь составила 0,96 га (рис. 28.12).

На рисунке 28.13 приведены схемы организации различных технологий глубокого рыхления на вариантах исследования.

Исследование различных средств и технологий глубокого рыхления осушаемых минеральных почв, а также обработки их результатов осуществлялось по общепринятым методам и методикам.

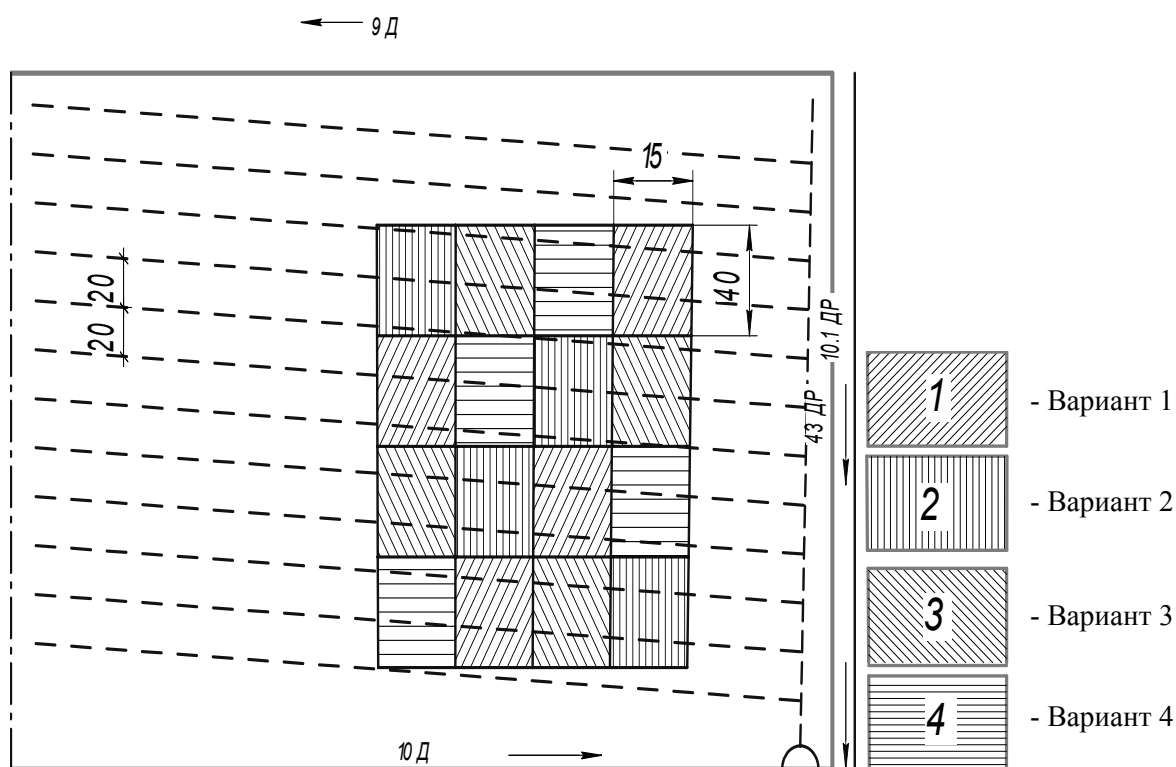


Рис. 28.12. Схема опытного участка и расположения вариантов исследований различных технологий и степени рыхления осушаемых почв

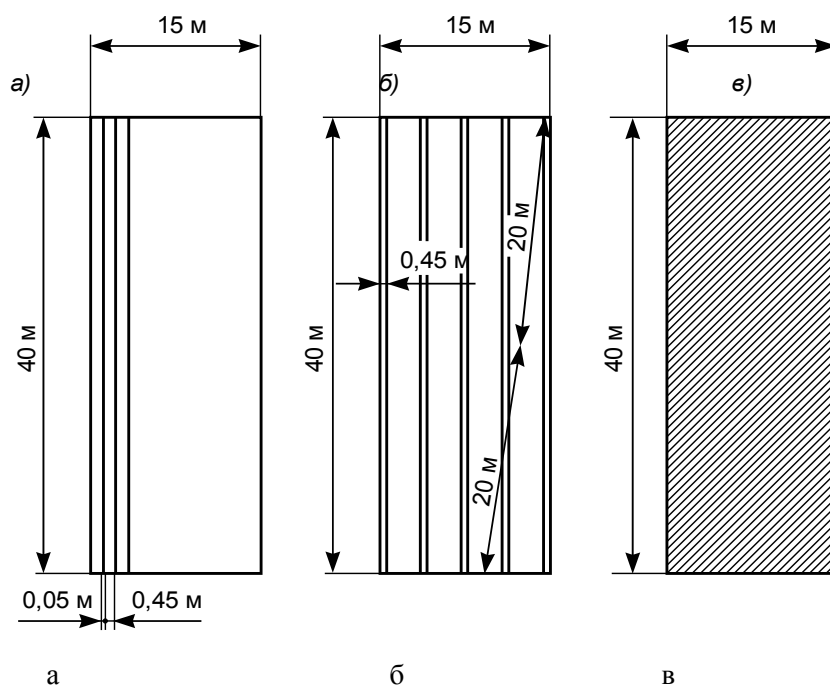


Рис. 28.12. Схема вариантов рыхления при различных технологиях и степени рыхления осушаемых почв: а) рыхление серийным двухстоечным рыхлителем РУ-45; б) рыхление опытным образцом одностоечным многоярусно-плужным рыхлителем; в) рыхление опытным образцом многоярусного рыхлителя-оструктуривателя [11, 12, 17 и др.]

28.4.2. Технологическая эффективность глубокого рыхления. Технологическая эффективность глубокого рыхления имеет следующие основные аспекты по технологической эффективности его реализации различными средствами и способами: во-первых, качество рыхления почв; во-вторых, это энергозатраты на его выполнение; в-третьих, уровень и характер влияния рыхления на водно-физические и агрономические свойства почвы и т. п.

В связи с изложенным к основным параметрам глубокого рыхления относятся: глубина рыхления, интервалы рыхления, расстояние между полосами рыхления, полнота рыхления и др.

Как было указано выше (пункт 28.3), в производственной практике считается, что качество выполнения рыхления лучшим образом характеризуется показателем *полноты рыхления* и *дополнительной влагоемкости* разрыхленной почвы.

Качество глубокого рыхления почвы будет характеризоваться разным эффектом последействия при применении различных средств и способов. Традиционный показатель качества рыхления в виде *коэффициента полноты рыхления* (пункт 28.3; формула 28.1) не позволяет выполнить сравнительную оценку эффективности глубокого рыхления по различным технологиям его выполнения на основе определения через соотношение площадей взрыхленной почвы в поперечном сечении полосы захвата рабочих органов рыхлителя к сумме площадей разрыхленных и неразрыхленных почв в этом же поперечном сечении. Этот недостаток устраняется путем определения данного коэффициента, через соответствующее соотношение объема разрыхленной к сравнительному объему почвы на массиве рыхления площадью 1 га с глубиной 1 м (пункт 28.3, формула 28.2).

Сравнительная характеристика эффективности применения различных технологий с разной степенью глубокого рыхления почвы на основе *коэффициента полноты рыхления*, определяемого по формуле (28.2) в соответствии с расчетной схемой, представленной на рисунке 28.9, представлена в таблице 28.11.

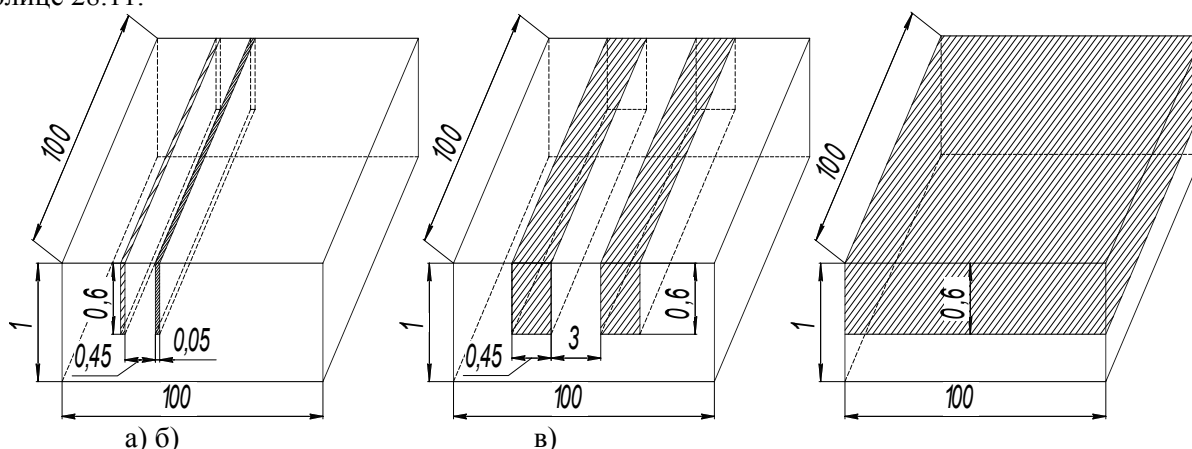


Рис. 28.13. Расчетные схемы глубокого рыхления почвы по исследуемым технологиям (размеры даны в метрах):

- а) щелевое рыхление серийным двухстоечным рыхлителем РУ-45;
- б) полосное рыхление опытным образцом одноярусно-плужного рыхлителя;
- в) сплошное рыхление опытным образцом многоярусного рыхлителя-оструктуривателя

Таблица 28.11

Выходные параметры технологий глубокого рыхления на массиве рыхления 1 га и соответствующий коэффициент полноты рыхления по их вариантам

Варианты рыхления	Показатели технологии	Объем рыхлений почвы за один проход, $V_{cp}, \text{м}^3$	Количество проходов рыхлителя, n_{cp}	Коэффициент полноты рыхления, R_c
Щелевое рыхление		3	20	0,18
Полосное рыхление		27	28	0,45
Сплошное рыхление		150	40	0,60

Энергетическая эффективность рыхления почвы определяется как сумма энергетических затрат по всем видам ресурсов и соответствующего эквивалента первичной продукции аграрного производства (выращиваемой продукции растениеводства) проводится в энергетических единицах (калориях, джоулях), что позволяет объективно определить энергетическую эффективность аграрного природопользования на осушаемых землях в целом, учитывая расходы энергии и полученный энергетический потенциал с мелиорированных угодий, уровень эффективности использования природных ресурсов, почвы, климата, солнечной радиации, тепла, то есть всех основных факторов плодородия, которые положительно или отрицательно влияют на получаемые урожаи.

Энергетическая эффективность соответствующей технологии глубокого рыхления почвы прежде всего характеризуется *удельным показателем расхода энергии* на 1 м^3 разрыхленного грунта, который определяется по формуле

$$\theta_i = \frac{E_{\theta}}{V_{p.z.}} = \frac{E_p}{R_c \cdot V_m}, \quad (28.4)$$

где θ_i – удельный расход энергии на 1 м³ разрыхленного грунта, кДж/м³.

В общем случае, главным показателем, характеризующим общие энергозатраты на реализацию глубокого рыхления почвы, является интегральный показатель, который определяется по формуле

$$E_B = E_T + E_P + E_{II} + E_{Л}, \quad \text{кДж} \quad (28.5)$$

где: E_B – энергетические затраты на рыхление почвы, кДж;
 E_T – энергетические затраты тракторов-тягачей, кДж;
 E_P – энергетические затраты использованного рыхлителя, кДж;
 E_{II} – энергетические затраты топлива, кДж;
 $E_{Л}$ – энергетические затраты труда человека, кДж.

Соответствующий показатель энергетического эквивалента полученной сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях характеризует определенное количество энергии в виде органического вещества, энергетическая оценка которой проводится, исходя из объема ее производства и калорийности, и определяется энергетическим потенциалом, который получают при выращивании сельскохозяйственных культур, по формуле

$$E_Y = \sum_{i=1}^n O_{аср} \times K_i, \quad (28.6)$$

где: E_Y – энергетический потенциал (калорийность) полученной продукции, кДж/га;

$O_{аср_i}$ – объем абсолютно сухого вещества i -той культуры, кг/га;

K_i – соответствующий показатель калорийности абсолютно сухого вещества i -той культуры, кДж/кг.

Соотношение между суммарными энергетическими затратами на реализацию рыхления почвы и соответствующим энергетическим эквивалентом (потенциалом) полученной сельскохозяйственной продукции характеризует коэффициент энергетического эквивалента как обобщенный показатель энергетической эффективности аграрного природопользования на осушенных землях, который определяется по формуле

$$\varphi = \frac{E_Y}{E_B}, \quad (28.7)$$

где φ – коэффициент энергетического эквивалента, характеризующий энергетическую эффективность аграрного природопользования при рыхлении осушенных почв;

Сравнительная характеристика эффективности применения различных технологий с разной степенью глубокого рыхления почвы по соответствующим показателям энергетической эффективности представлена в таблице 28.12.

Таблица 28.12

Сравнительная характеристика показателей энергетической эффективности по вариантам глубокого рыхления слоя почвы 0,6 м

Варианты рыхления \ Показатели	Затраченная энергия на рыхления (E_B) кДж / га	Удельный расход энергии на 1м ³ разрыхленных почв (θ) кДж/м ³	Коэффициент энергетического эквивалента, (φ)	Энергетическая оценка выращенного урожая (E_Y) кДж/га
Щелевое рыхление	1286,8	7,39	17,3	22262
Полосное рыхление	3675,76	4,53	6,77	24875
Сплошное рыхление	4594,61	0,77	6,04	27730

Результаты энергетического анализа показывают, что хотя сплошное рыхление более энергоемкое, чем щелевое и полосное, но применение такой технологии обеспечивает существенную прибавку дополнительной и первичной продукции в виде прибавки урожая выращиваемых культур на осушаемых землях, не только покрывает расходы на его реализацию, но и создает соответствующую

прибыль. Поэтому коэффициент энергетической эффективности выше при сплошном рыхлении почвы, чем при традиционном щелевом и многоярусном полосном способах, что позволяет более эффективно использовать потенциал мелиорированных почв. При этом срок эффективного последействия рассмотренных способов глубокого рыхления осушаемого минерального грунта составляет соответственно: щелевого – 1 год; полосового – 3 года, сплошного – до 4 лет.

Влияние глубокого рыхления на водно-физические свойства осушаемых минеральных почв также отличается в зависимости от применяемой технологии. Глубокое рыхление почвы, в первую очередь, влияет на их структуру, а следовательно, на плотность, скважность и твердость, а затем опосредованно через них на водно-физические свойства, водный, воздушный, тепловой и другие режимы почв. Все это отражается на прорастании семян, интенсивности роста корневой системы, развитии растений и их урожайности.

Глубокое мелиоративное рыхление значительно улучшает агрегатный состав и водопроницаемость осушаемых минеральных почв в верхнем слое мощностью не менее 0,6 м и тем самым положительно влияет на изменение их водно-физических свойств и агро-мелиоративных состояний в целом.

В связи с этим основным назначением глубокого рыхления является создание и поддержание необходимой структуры осушаемых минеральных почв для обеспечения благоприятных условий выращивания районированных сельскохозяйственных культур. Эффективность рыхления в значительной степени зависит от первичного (до рыхления) состояния почвы, а именно его плотности, структурированности и влажности.

Глубокое рыхление значительно улучшает водно-физические свойства почв: плотность уменьшается, соответственно скважность, водопроницаемость и водоотдача увеличиваются. Глубокое рыхление играет важную роль при регулировании водно-воздушного режима осушаемых почв: в периоды переувлажнения оно способствует ускоренному освобождению пахотного слоя от избытка влаги, ускоряя ее перемещение в нижележащие слои, а в засушливые периоды – накоплению влаги в разрыхленном слое почвы с последующим более эффективным использованием ее растениями. При этом оно значительно улучшает условия работы закрытого систематического дренажа.

Глубокое рыхление приводит к существенному увеличению водопроницаемости почвы по всей глубине рыхления, главным образом в подпахотном горизонте. Степень разрыхленности почв, изменение их водно-физических свойств и водопроницаемости зависят от примененного способа и средства глубокого рыхления. Так, при использовании щелевого рыхления плотность почвы сразу после рыхления в зоне нарезанных стойками щелей составляла в пахотном слое 1,4...1,45 т/м³, а в подпахотном – 1,45...1,71 т/м³.

Лучшее качество рыхления показал многоярусно-плужный рабочий орган при полосном рыхлении. Причем в этом случае плотность почвы замеряли сразу после рыхления почвы как в зоне нарезанной щели, так и между ними. Наибольшие изменения плотности почвы происходят по линии прохождения стойки данного рыхлителя. Сравнение плотности в этих зонах показало ее уменьшение на 28,3 %. Соответственно в полосе рыхления плотность в пахотном горизонте составляла 1,31 т/м³, в подпахотном – 1,43 т/м³, а между полосами рыхления соответственно 1,45 и 1,57 т/м³. Через месяц плотность почвы в зоне щели по вертикали изменилась до 1,43 т/м³. По мере удаления от оси щели со стороны трубонаправляющего тракта на 15...20 см она составляла уже 1,67 т/м³, то есть увеличилась на 13...15 % и уже почти достигла исходной плотности первичной (неразрыхленной) почвы.

Наилучшие результаты глубокого рыхления осушаемых минеральных почв полесской зоны достигнуты при применении сплошного рыхления на основе использования многоярусного рыхлителя-оструктуривателя. При этом плотность почвы в пахотном горизонте уменьшилась до 1,1...1,15 т/м³, в подпахотном – до 1,2...1,3 т/м³. Кроме того, была доказана возможность прогнозировать и получать желаемую структуру в любом горизонте вертикального профиля рыхлений почвы вследствие возможности регулирования параметров рабочего органа рыхлителя-оструктуривателя. При этом, в отличие от предыдущих технологий, была достигнута оптимальная структура разрыхленного грунта: в пахотном горизонте – 55...60 % по массе почвенных агрегатов с диаметром 10...50 мм и остальные 40 % – по суммарной массе агрегатов с диаметром менее 10 мм и больше 50 мм, а в подпахотном горизонте соответственно с диаметром 20...50 мм – 70...80 % и суммарно агрегатов с диаметрами меньше 20 мм и крупнее 50 мм – 38...40 %.

В соответствии с изменением плотности почвы менялись связанные с ней параметры ее водопроницаемости и водоотдачи.

Обобщенная сравнительная характеристика усредненных во времени (по сроку последействия) и пространстве (по профилю почвы) значений основных показателей водно-физических свойств в 0,6 м слое осушаемых минеральных почв по вариантам их рыхления представлена в таблице 28.13.

Сравнительная характеристика водно-физических свойств 0,6 м слоя почвы по вариантам рыхления

Показатели Варианты рыхления	Плотность (γ), т/м ³			Скважность (A), %			Водопроницаемость (k_{ϕ}), м/сут			Водоотдача (μ) по Эркину		
	абс. знач.	отклонение от контроля		абс. знач.	отклонение от контроля		абс. знач.	отклонение от контроля		абс. знач.	отклонение от контроля	
		т/м ³	%		т/м ³	%		т/м ³	%		-	%
Без рыхления (контроль)	1,68	-	-	38,3	-	-	0,30	-	-	0,014	-	-
Щелевое рыхление	1,63	0,5	2,9	41,8	3,53	9,2	0,65	0,62	206	0,030	0,016	114
Полосное рыхление	1,53	0,5	8,9	43,2	4,9	12	0,82	0,79	296	0,038	0,024	171
Сплошное рыхление	1,32	0,6	21	50,0	11	30	1,36	1,33	443	0,063	0,049	350

Влияние глубокого рыхления на агрометеорологические показатели минеральных осушаемых почв определяется изменением их водно-физических свойств и также зависит от применяемой технологии.

После глубокого рыхления и оструктурирования почвы влага распределяется в разрабатываемом слое значительно большей мощности, интенсивность переувлажнения осушаемых почв снижается. Поэтому в подпахотном горизонте сохраняется значительно большая обеспеченность почвы воздухом, чем в естественном уплотненном состоянии. Избыток влаги просачивается к дрене, а в разрыхленном слое остается запас воды, соответствующий НВ. Кроме того, уменьшение плотности почвы и соответствующее увеличение скважности при глубоком рыхлении приводит к увеличению его водоаккумулирующей способности. При этом увеличиваются производительные влагозапасы в разрыхленном слое почвы в результате изменения предельной полевой влагоемкости и влажности увядания. В свою очередь, это обеспечивает повышение влагообеспеченности осушаемых почв, более эффективное использование атмосферной влаги и, как следствие, повышение потенциальной и эффективной производительности почвы и выращиваемых сельскохозяйственных культур в целом.

Обобщенная сравнительная характеристика усредненных значений основных агрометеорологических показателей 0,6 м слоя осушаемого минерального грунта по изменению запаса продуктивной влаги и наиболее универсальным показателям производительности выращиваемых культур по вариантам его рыхления приведена в таблице 28.14.

Таблица 28.14

Сравнительная характеристика агрометеорологических показателей для 0,6 м слоя почвы по вариантам рыхления

Показатели Варианты рыхления	Запас продуктивной влаги (Wh), м ³ /га			Продуктивность культур, КПД ФАР, %		
	абсолют. значение, м ³ /га	отклонение от контроля		абсолют. значение, %	отклонение от контроля	
		м ³ /га	%		%	%
Без рыхления (контроль)	316	-	-	0,80	-	-
Щелевое рыхление	594	278	49,0	0,88	0,08	10,0
Полосное рыхление	655	339	51,0	0,99	0,19	24,0
Сплошное рыхление	711	395	55,5	1,16	0,36	45,0

Согласно литературным источникам [20–22], результатам исследований, проведенных в различных природно-климатических зонах, глубокое рыхление также положительно влияет на температурный режим почвы, особенно пахотного горизонта, где в весенний период температура почвы повышается на 0,8...1,1 °С. Наибольшее по абсолютной величине расхождение температуры характерно для летнего периода. В пахотном горизонте почвы в этот период имели место случаи, когда при повышении температуры воздуха до 25...30 °С максимальная температура в разрыхленной почве становилась на 0,1...0,5 °С ниже, чем без рыхления. Под действием глубокого рыхления на 8...12 см уменьшается и глубина промерзания почвы, а оттаивание весной ускоряется на 2–3 суток. Особенно это характерно для первого года последствия рыхления.

В тесной взаимосвязи с температурным и водным режимом находится *испарение влаги*. Глубокое рыхление, нарушая капиллярную связь в верхних горизонтах, уменьшает интенсивность капиллярного питания и соответственно несколько уменьшает испарение с поверхности почвы. При этом более эффективно используются увеличенные за счет рыхления запасы почвенной влаги при питании корневой системы выращиваемых растений, повышается их урожай и увеличивается соответствующая величина транспирационной составляющей суммарного испарения.

Сравнительная характеристика расчетных значений величины суммарного испарения и ее транспирационной составляющей на примере выращивания на осушаемых минеральных почвах многолетних трав на зеленую массу по вариантам рыхления приведена в таблице 28.15.

Таблица 28.15

Расчетная величина суммарного испарения (числитель) и ее транспирационная составляющая (знаменатель) при выращивании многолетних трав (зеленая масса) на осушаемых минеральных почвах по вариантам рыхления

Варианты рыхления	Испарение (м ³ /га) по расчетным годам, р (%)					Среднее
	10	30	50	70	90	
Без рыхления (контроль)	2970	3451	3972	3459	2842	3451
	2252	3302	3654	3231	2691	3026
Щелевое рыхление	2970	3459	3852	3568	2923	3459
	2265	3258	3479	3324	2772	3019
Полосное рыхление	2970	3456	3684	3732	3060	3456
	2250	3059	3249	3432	2893	2976
Сплошное рыхление	2965	3490	3661	3856	3123	3490
	2260	3062	3191	3605	3055	3034

Примечание. Как расчетные годы по условиям тепло- и влагообеспеченности рассматриваются: р = 10 % – очень влажный; р = 30 % – влажный; р = 50 % – средний; р = 70 % – сухой; р = 90 % – очень сухой [11].

28.4.3. Урожайность выращиваемых культур при глубоком рыхлении. На современном этапе развитие осушительных мелиораций основывается на разработке новых подходов и прогрессивных технологий водорегулирования с целью оптимизации природно-мелиоративного режима сельскохозяйственных угодий с регулируемым водным режимом, улучшения их эколого-агротелиоративного состояния, повышения урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур. Создание более благоприятного водно-воздушного режима и улучшение водно-физических и химических свойств осушаемых минеральных почв, повышение их общей влагообеспеченности за счет увеличения их аккумулирующей способности вследствие глубокого рыхления положительно влияет на прирост урожая.

Исследуемые технологии и средства глубокого рыхления осушаемых минеральных почв по-разному влияют на урожай в зависимости от тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации и вида выращиваемых культур как в полевом, так и машинном эксперименте. Сравнительная характеристика урожая выращиваемых сельскохозяйственных культур на осушаемых минеральных почвах по годам исследований в полевом эксперименте по вариантам их глубокого рыхления дана в таблице 28.16.

Таблица 28.16

Сравнительная характеристика урожая выращиваемых сельскохозяйственных культур по годам исследований по вариантам глубокого рыхления

№ п/п	Варианты рыхления	Урожай культур, ц/га	Отклонение от контроля	
			ц / га	%
2003 г., Р = 22,8 % (влажный), сахарная свекла (корнеплоды)				
1	Без рыхления (контроль)	288,5	-	-
2	Щелевое рыхление	301,6	13,1	4,5
3	Полосное рыхление	340,1	51,6	18,1
4	Сплошное рыхление	381,7	93,25	32,3
2004, р = 45,4 % (средний), озимые зерновые (зерно)				
1	Без рыхления (контроль)	29,1	-	-
2	Щелевое рыхления	30,9	1,8	6,1
3	Полосное рыхление	33,7	4,6	15,9
4	Сплошное рыхление	35,6	6,5	22,3
2005г., Р = 71,2% (сухой), яровые зерновые (зерно)				
1	Без рыхления (контроль)	26,4	-	-
2	Щелевое рыхление	27,8	1,4	5,3
3	Полосное рыхление	28,9	2,5	9,4
4	Сплошное рыхление	31,5	5,1	19,3

Сравнительная характеристика прогнозного урожая выращиваемых сельскохозяйственных культур проектного севооборота на осушаемых минеральных почвах согласно машинному эксперименту (пункт 28.4) по вариантам их глубокого рыхления приведена в таблице 28.17.

Таблица 28.17

Прогнозный урожай выращиваемых культур проектного севооборота по вариантам рыхления

№ п/п	Варианты рыхления	Культуры	Вид продукции	Урожай культур (ц / га) по расчетным годам, Р%					Проектный урожай, ц/га
				10	30	50	70	90	
1	Без рыхления (контроль)	Многолетние травы	зеленая масса	134,8	230,7	251,9	154,1	102,1	183,2
		Яровые зерновые	зерно	12,9	22,0	30,1	27,8	18,6	23,6
		Озимые зерновые	зерно	10,3	20,8	29,5	27,6	18,3	22,7
		Картофель	клубень	164,2	38,4	216,8	148,3	83,0	136,0
2	Щелевое рыхление	Многолетние травы	зеленая масса	151,7	255,2	261,5	177,8	116,7	201,1
		Яровые зерновые	зерно	14,5	24,7	32,4	29,3	20,5	25,6
		Озимые зерновые	зерно	11,6	23,4	31,8	28,5	20,2	24,5
		Картофель	клубень	184,7	42,4	233,9	156,7	91,8	147,6
3	Полосное рыхление	Многолетние травы	зеленая масса	168,6	287,5	280,2	217,9	142,6	228,7
		Яровые зерновые	зерно	16,1	28,8	36,6	32,4	23,8	29,0
		Озимые зерновые	зерно	12,9	27,2	35,9	31,6	23,6	27,8
		Картофель	клубень	205,2	50,2	227,7	185,9	110,8	160,8
4	Сплошное рыхление	Многолетние травы	зеленая масса	209,6	331,7	318	263,9	173,1	269,2
		Яровые зерновые	зерно	22,2	33,4	42,5	35,4	26,2	33,4
		Озимые зерновые	зерно	17,8	31,5	41,4	34,9	26,2	32,0
		Картофель	клубень	262,2	58,7	267,7	231,6	126,5	194,9

Как убедительно свидетельствуют результаты полевого и машинного экспериментов, применение глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах обеспечивает прибавку урожая культур: щелевое – 5...10 %; полосное – 10...20 %; сплошное – 20...40 %.

Приведенные результаты по урожаю культур как по годам исследований, так и прогнозных их значений адекватно отображают достигнутый уровень улучшения условий их выращивания по вариантам глубокого рыхления осушаемых минеральных почв.

28.5. Расчет параметров глубокого рыхления

28.5.1. Конструктивные и технологические параметры глубокого рыхления. При обосновании или выборе средства и способа глубокого рыхления в проектах нового строительства, реконструкции и эксплуатации гидромелиоративных систем на осушаемых минеральных почвах возникает необходимость в расчете их технических и технологических параметров, а также параметров эффекта от их реализации.

К основным параметрам технических средств глубокого рыхления почвы относятся прежде всего конструктивные размеры их рабочих органов.

Размеры рабочих органов традиционного щелевого рыхлителя и более прогрессивного многоярусного плужного полосового рыхлителя (пункт 28.3, рис. 28.4–28.7) определены конструктивно, не зависят от условий их работы и не меняются от характеристик почвы. В отличие от них, рабочий орган рыхлителя-оструктуривателя позволяет под имеющуюся заданную плотность почвы подобрать такие рабочие параметры почвообрабатывающего элемента, которые обеспечат необходимую степень измельчения разрыхляемого слоя почвы. Эта задача решается путем подбора нужного «конечного» радиуса R_k рабочей поверхности почвообрабатывающего элемента (пункт 28.3, рис. 28.8, 28.9) в зависимости от имеющейся и необходимой структуры почвы в горизонте, что рыхлится.

По результатам лабораторных исследований предельных деформаций почвенных образцов при раскрашивании от разрыва была обнаружена их связь с напряженно-деформационным состоянием почвенных частиц плотностью γ , подвергающихся деформации поперечным изгибом, с параметрами почворыхляющих поверхностей рабочего органа R_k . Зависимость «конечного» радиуса R_k кривизны желоба почворыхляющего элемента рыхлителя-оструктуривателя от плотности почвы γ_{zp} обрабатываемого горизонта представлена на рисунке 28.13.

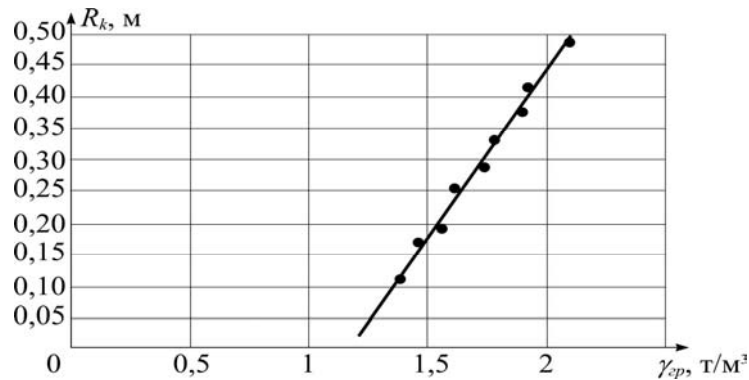


Рис. 28.13. Зависимость «конечного» радиуса R_k почворыхлящего элемента рыхлителя-оструктуривателя от плотности почвы γ_{sp} в разрабатываемом горизонте

Таким образом, расчет «конечного» радиуса R_k кривизны желоба почворыхлящего элемента данного рыхлителя в зависимости от плотности почвы γ_{sp} разрабатываемого горизонта осуществляется по следующей эмпирической зависимости

$$R_k = 1,236 - \frac{1,583}{\gamma_{sp}}, \text{ м } (r^2 = 0,8850); 0,15 \leq R_k \leq 0,41. \quad (28.8)$$

По результатам проверки и уточнения в полевых условиях методики по определению основных конструктивных параметров почворыхлящих поверхностей рабочего органа рыхлителя-оструктуривателя (рис. 28.9): конечный радиус R_k , максимальная ширина L , ширина почворыхлящих поверхностей d , расстояние между соседними почворыхлящими поверхностями b , глубина рыхления H , толщина стружки h , угол наклона рамы к горизонту α , задний угол αP , ширина полосы рыхления B – в зависимости от состояния влажности пахотного и подпахотного горизонтов почвы, рекомендуются такие их значения (табл. 28.18, 28.19).

Таблица 28.18

Рекомендуемые значения основных параметров почворыхлящих поверхностей

Почвенный слой	Конечный радиус, R_k , М	Максимальная ширина, L , М	Минимальная длина, a , М	
			$V_{azp} = 1,5 \text{ м/с}$	$V_{azp} = 2,5 \text{ м/с}$
Пахотный (< 0,24 м)	0,13 ... 0,21	0,20 ... 0,33	0,08 ... 0,12	0,10 ... 0,16
Подпахотный (> 0,24 м)	0,25 ... 0,41	0,39 ... 0,61	0,15 ... 0,23	0,2 ... 0,3

Таблица 28.19

Рекомендуемые значения основных параметров пространственного разнесения почворыхлящих поверхностей на стойках

Почвенный слой	αp , Град	H , М	b , М	d , М	
				$V_{azp} = 1,5 \text{ м/с}$	$V_{azp} = 2,5 \text{ м/с}$
Пахотный (< 0,24 м)	25 ... 300	0,15 ... 0,18	0,12 ... 0,15	-	-
Подпахотный (< 0,24 м)	25 ... 300	0,07 ... 0,11	0,05 ... 0,09	0,11 ... 0,14	0,11 ... 0,33

Связь конструктивных параметров рыхлителя-оструктуривателя с параметрами технологии глубокого рыхления с учетом структуры рыхленной почвы определяется по зависимости плотности почвы γ_{sp} от коэффициента полноты рыхления почвы R_c , который приведен на рисунке 28.14.

Расчет производится по формуле

$$\gamma_{sp} = 1,7 + 0,16 \cdot R_c - 1,3 \cdot R_c^2, \text{ т/м}^3, (r^2 = 0,9719); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (28.9)$$

Энергетическая эффективность глубокого рыхления характеризуется интегральным показателем расходов энергии E_e , показателем удельного расхода энергии на рыхление $1 \text{ м}^3 \theta$ и энергетическим эквивалентом (потенциалом) полученной сельскохозяйственной продукции φ (см. пункт 28.4).

Зависимость интегрального показателя затрат энергии E_e на единицу площади от коэффициента полноты рыхления почвы R_c представлена на рисунке 28.15.

Расчет производится по формуле

$$E_e = 2713 \cdot \ln(R_c) + 5921, \text{ кДж/га}, (r^2 = 0,9283); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (28.10)$$

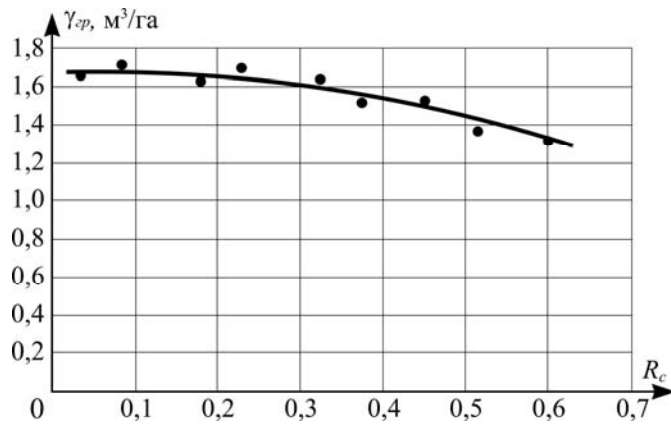


Рис. 28.14. Зависимость плотности почвы γ_{sp} от коэффициента полноты рыхления почвы R_c в слое 0,6 м

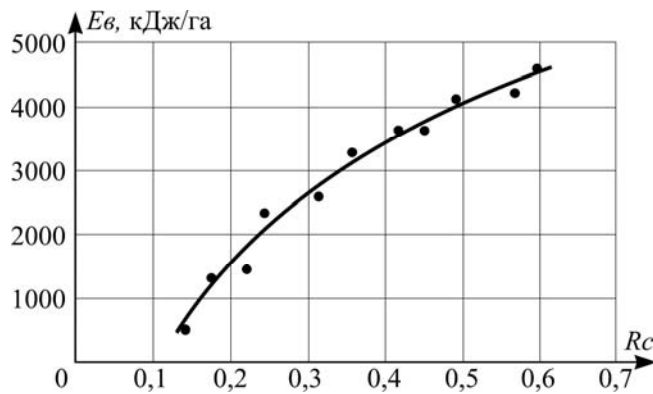


Рис. 28.15. Зависимость интегрального показателя затрат энергии E_b от коэффициента полноты рыхления R_c в слое почвы 0,6 м

Зависимость удельного расхода энергии на 1 м^3 разрыхленной почвы θ от коэффициента полноты рыхления почвы R_c представлена на рисунке 28.16.

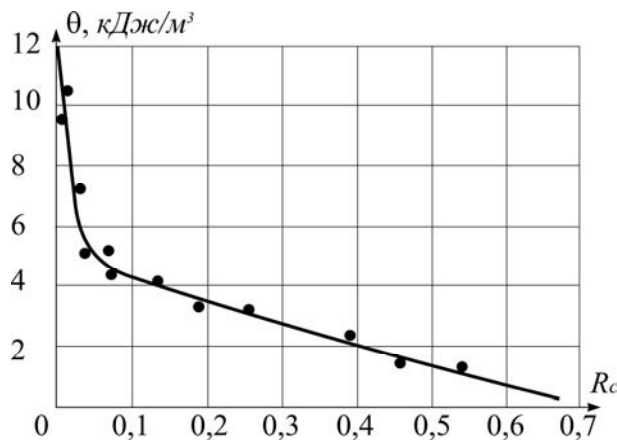


Рис. 28.16. Зависимость удельного расхода энергии на 1 м^3 разрыхленной почвы θ от коэффициента полноты рыхления почвы R_c в слое 0,6 м

Расчет производится по формуле

$$\theta = \frac{1}{0,087 + 0,203 \cdot R_c}, \text{ кДж/м}^3, (r^2 = 0,9800); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (28.11)$$

Зависимость коэффициента энергетического эквивалента φ от коэффициента полноты рыхления R_c представлена на рисунке 28.17.

Расчет производится по формуле

$$\varphi = 26,1 \cdot \exp(-2,62 \cdot R_c), (r^2 = 0,9333); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (28.12)$$

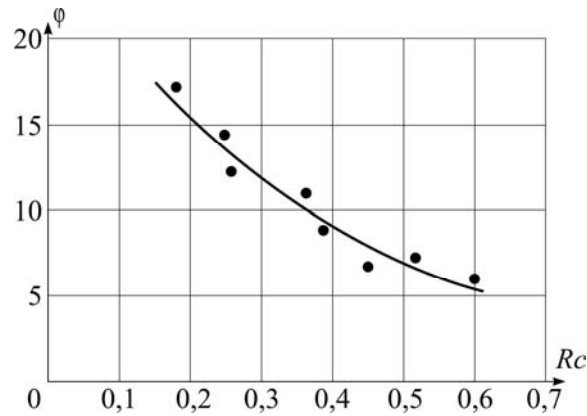


Рис. 28.17. Зависимость коэффициента энергетического эквивалента ϕ от коэффициента полноты рыхления R_c в слое 0,6 м

Влияние глубокого рыхления на водно-физические свойства осушаемых минеральных почв характеризуется изменением их фильтрационной и аккумуляционной способности.

28.5.2. Влияние глубокого рыхления на водно-физические свойства и агролиморативные показатели осушаемых минеральных почв. Зависимость коэффициента фильтрации K_ϕ от коэффициента полноты рыхления R_c представлена на рисунке 28.18.

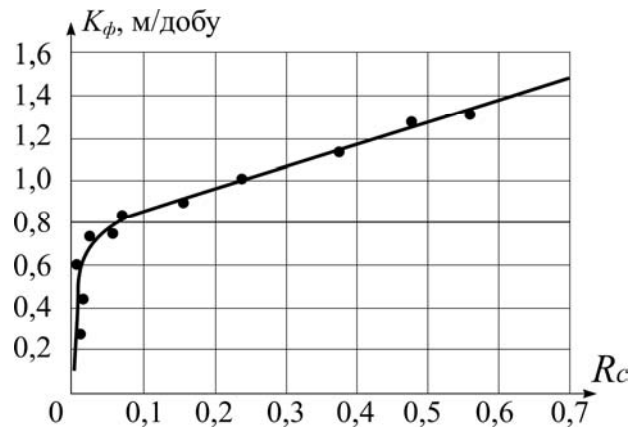


Рис. 28.28. Зависимость коэффициента фильтрации K_ϕ от коэффициента полноты рыхления R_c в слое 0,6 м

Расчет производится по формуле

$$K_\phi = 1,60 - \frac{0,117}{R_c}, \text{ м/добу}, (r^2 = 0,9113); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (28.13)$$

Зависимость максимального запаса продуктивной влаги почвы Wh^0 от коэффициента полноты рыхления R_c представлена на рисунке 28.19.

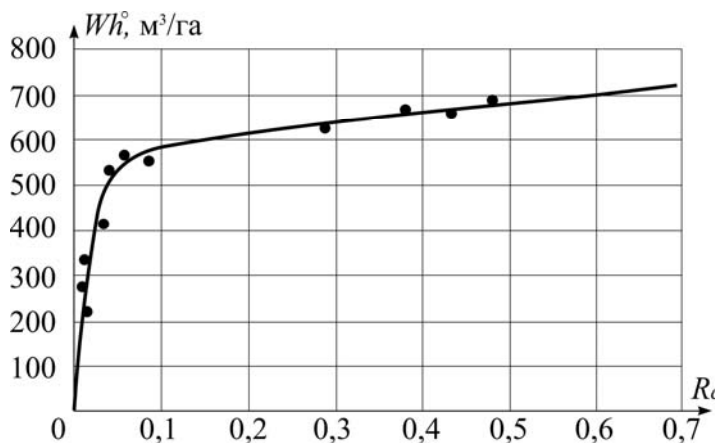


Рис. 28.19. Зависимость максимального запаса продуктивной влаги почвы Wh^0 от коэффициента полноты рыхления R_c в слое 0,6 м

Расчет производится по формуле

$$Wh^{\circ} = \frac{R_c}{0,0003 + 0,0014 \cdot R_c}, m^3 / za \quad (r^2 = 0,9800), 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (28.14)$$

Зависимость запаса продуктивной влаги почвы Wh от плотности почвы γ_{cp} представлена на рисунке 28.20.

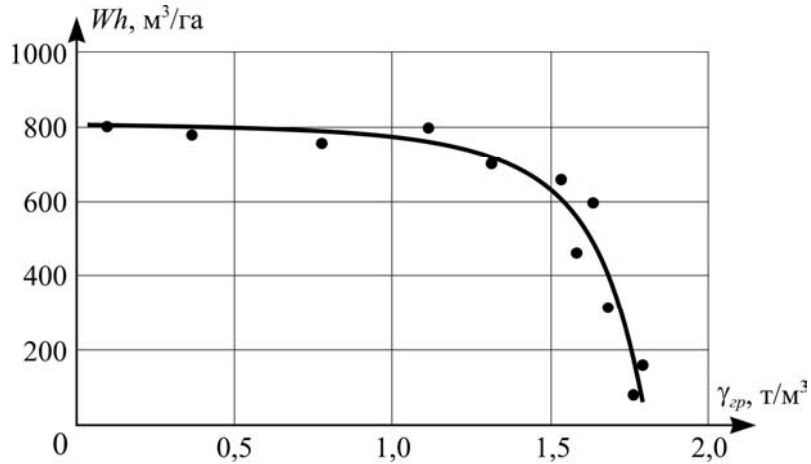


Рис. 28.20. Зависимость запаса продуктивной влаги почвы Wh от плотности почвы γ_{cp} в слое 0,6 м

Расчет производится по формуле

$$Wh = 800 - 0,16 \cdot e^{4,75 \cdot \gamma_{cp}}, m^3 / za, (r^2 = 0,9875); 0,1 \leq \gamma_{cp} \leq 1,8. \quad (28.15)$$

Зависимость производительности культур КПД ФАР χ от запаса продуктивной влаги почвы Wh представлена на рисунке 28.21.

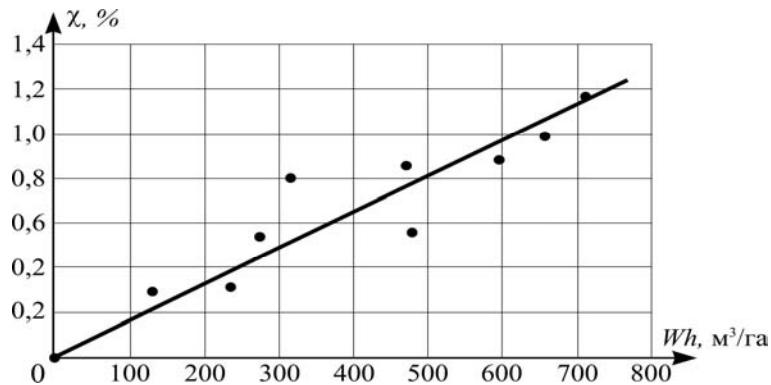


Рис. 28.21. Зависимость производительности культур КПД ФАР χ от запаса продуктивной влаги почвы Wh в слое 0,6 м

Расчет производится по формуле

$$\chi = 0,0016 \cdot Wh, \%, (r^2 = 0,8823) \quad (28.16)$$

По определенным значениям максимальной производительности влагозапасы расчетного слоя почвы до и после его рыхления определяется показатель *дополнительной влагоемкости*, характеризующий увеличение аккумуляционной способности и эффективность глубокого рыхления в целом (пункт 28.3, формула 28.3).

Аналогичные зависимости для расчета агрогидрологических характеристик разрыхленных и неразрыхленных осушаемых минеральных почв в зависимости от соответствующей им плотности приведены в таблице 28.20. Полученные зависимости рекомендуются для использования при выборе способа и средства глубокого рыхления в проектах нового строительства, реконструкции и эксплуатации гидромелиоративных систем на осушаемых минеральных почвах, когда возникает необходимость в расчете их технических и технологических параметров, а также параметров эффекта от их реализации.

Зависимости для расчета агрогидрологических характеристик разрыхленной и неразрыхленной минеральной осушаемой почвы в слое 0,6 м при их соответствующей плотности

№ п/п	Без рыхления	С рыхлением
1	$A = 84,05 - 27,62 \gamma_{гр}; R = 0,91$	$A = 97,60 - 34,75 \gamma_{гр}; R = 0,87$
2	$ПВ = 68,13 - 26,06 \gamma_{гр}; R = 0,92$	$ПВ = 53,14 - 14,81 \gamma_{гр}; R = 0,60$
3	$НВ = 33,45 - 14,06 \gamma_{гр}; R = 0,81$	$НВ = 24,80 - 8,60 \gamma_{гр}; R = 0,60$
4	$ВВ = 6,75 - 0,06 \gamma_{гр}; R = 0,70$	$ВВ = 4,50 - 0,03 \gamma_{гр}; R = 0,70$
5	$WПВ = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (61,38 - 26,0 \cdot \gamma_{гр})$	$WПВ = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (48,64 - 14,78 \cdot \gamma_{гр})$
6	$WНВ = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (26,7 - 14,0 \cdot \gamma_{гр})$	$WНВ = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (20,3 - 8,57 \cdot \gamma_{гр})$

Примечание: А – скважность, %; ПВ – полная влагоемкость, %; НВ – наименьшая влагоемкость, %; ВУ – влажность увядания, %; WПВ, WНВ – влагозапасы слоя почвы при соответствующей его влажности на уровне ПВ и НВ.

28.6. Эффективность работы дренажа и обоснование его параметров при глубоком рыхлении почвы

28.6.1. Влияние глубокого рыхления на эффективность работы дренажа. Глубокое рыхление, выполненное в оптимальные сроки с соблюдением всех нормативных требований, улучшает водно-воздушный режим, условия питания и развития растений и соответственно повышает производительность мелиорированных земель. При этом растет эффективность работы закрытого систематического дренажа и появляется возможность для увеличения расстояния между дренами, что, в свою очередь, позволяет уменьшить удельные капиталовложения в проектах строительства и реконструкции осушительных систем.

Основным способом осушения минеральных переувлажненных почв является закрытый материальный дренаж, который в современных условиях не всегда обеспечивает выполнение проектных показателей водного режима. Поэтому для решения этой проблемы необходимо проводить агромероприятия, и прежде всего глубокое рыхление почвы.

Обобщенные результаты исследований влияния глубокого рыхления на эффективность работы систематического материального дренажа на минеральных осушаемых почвах в различных регионах рассмотрены в научной литературе [21] и сводятся к следующему:

- закрытый дренаж на глубине 1,1...1,3 м при расстояниях между дренами 22,5 м на тяжелых суглинистых почвах в сочетании с глубоким рыхлением обеспечил водно-воздушный режим почвы, близкий к оптимальному для выращивания сельскохозяйственных культур;

- для условий Прикарпатья Д. А. Тютюнник (1976), исходя из увеличения коэффициента фильтрации под влиянием глубокого рыхления в 10... 20 раз, считает возможным увеличить расстояния между дренами с 8...12 до 15...18 м и с 10...11 до 13...15 м, а для условий Украинского Полесья рекомендовал расстояния между дренами, которые обычно принимаются в 12...15 м, увеличить до 16...20 м;

- при применении глубокого разрыхления регулярно через 4...5 лет Х. Ю. Томсон (1978) рекомендовал увеличить междренные расстояния в глинистых почвах на 20 % и суглинистых – до 75 % по сравнению с действующими в Эстонии нормами проектирования;

- в Беларуси нормами проектирования предусмотрено увеличение междренных расстояний при глубоком рыхлении на 20 %, хотя исследования показали, что значение может быть значительно увеличена без заметного влияния на урожайность выращиваемых сельскохозяйственных культур;

- при систематическом применении глубокого рыхления (через 3...4 года) в северных районах российского Нечерноземья рекомендуется увеличивать расстояния между дренами на тяжелых почвах в 1,4...1,6 раза;

- Б. С. Маслову (1981), увеличение расстояний между дренами позволит сократить капиталовложения в осушение земель на 20...40 %;

- наибольшее влияние на уровни грунтовых вод глубокое рыхление производит в начальный период, при этом, несмотря на разницу в формировании водного режима в зависимости от расстояния между дренами, глубокое разрыхление несколько выравнивает разницу в уровнях грунтовых вод и, соответственно, в урожаи выращиваемых культур.

28.6.2. Расчет параметров дренажа с учетом рыхления. При глубоком рыхлении почвы основными параметрами дренажа является глубина заложения дрен и расстояния между дренами.

Что касается глубины заложения дрен, то в условиях Украины она в среднем 0,9...1 м, а ее величина регламентирована соответствующим нормативом [1 и др.].

По мнению отдельных авторов [21], вопрос об увеличении расстояния между дренами при глубоком рыхлении может быть решен на основании технико-экономических расчетов, или расчетов неустойчивой фильтрации.

Рассчитывая степень увеличения расстояний между дренами при глубоком рыхлении, в качестве расчетной можно принять простейшую схему фильтрации воды в двухслойном грунте, где коэффициент фильтрации первого слоя (это разрыхленный верхний слой почвы) значительно превышает коэффициент фильтрации второго слоя, который находится в естественном состоянии (рис. 28.22).

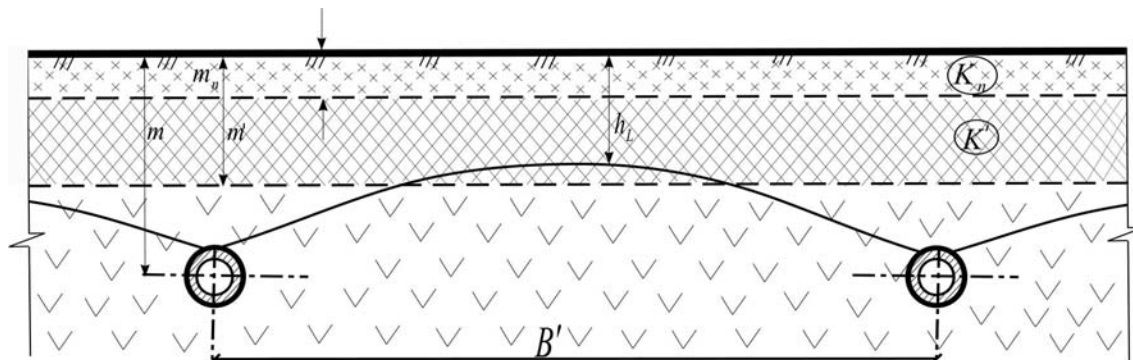


Рис. 28.22. Расчетная схема определения расстояний между дренами с глубоким рыхлением [21]

Расстояние между дренами для совершенного дренажа можно определить по формуле Ш. И. Брусиловского

$$B = 2L = \sqrt{\frac{3p \cdot t}{\delta \cdot \left(0,25 + \ln \frac{m}{m - h_L}\right)}}, \quad (28.17)$$

$$\text{где } \delta = \begin{cases} \alpha_n \bar{h}, & h \leq \bar{m}_n \\ \alpha_n \bar{h} + (\alpha - \alpha_n) \cdot \left(\frac{\bar{h} - m_n}{\bar{h}}\right) \text{ при } m' \geq \bar{h} \geq m_n, \end{cases} \quad (28.18)$$

$$\bar{h} = m + 2h_L / 3, \quad (28.19)$$

где t – расчетное время; h_L – норма осушения, м; m_n – мощность пахотного слоя, м; m' – глубина рыхления; m – глубина залегания дрен, м; δ – суммарная водоотдача; $\alpha_n - \alpha$ – производная почвы соответственно пахотного и подпахотного горизонтов; P – влагопроводность, м²/сут.

После рыхления $\alpha_n, \alpha, \delta, B, P$ обозначаются соответственно $\alpha'_n, \alpha', \delta', B', P'$.

Если принять, что $m_n \leq h_L \leq m'$, Тогда:

– до рыхления

$$P = \frac{1}{3} \cdot [K_n \cdot m_n + K \cdot (2m - m_n - h_L)]; \quad (28.20)$$

– после рыхления

$$P' = \frac{1}{3} \cdot [K'_n \cdot m'_n + K' \cdot (2m' - m_n - h_L) + 2K \cdot (m - m')], \quad (28.21)$$

где K_n и K'_n – коэффициенты фильтрации пахотного слоя соответственно до и после рыхления, м/сут.;

K и K' – коэффициенты фильтрации подпахотного слоя до и после рыхления, м/сут.

Тогда расстояния между дренами:

– до рыхления

$$B = \sqrt{\frac{3 \cdot \frac{1}{3} \cdot [K_n \cdot m_n + K \cdot (2m - m_n - h_L)] \cdot t}{\delta \cdot \left(0,25 + \ln \frac{m}{m - h_L}\right)}}, \quad (28.22)$$

– после рыхления

$$B = \sqrt{\frac{3 \cdot \frac{1}{3} \cdot [K'_n \cdot m'_n + K' \cdot (2m' - m_n - h_L) + 2K \cdot (m - m')] \cdot t}{\delta' \cdot \left(0,25 + \ln \frac{m}{m - h_L}\right)}} \quad (28.23)$$

Коэффициент изменения расстояний между дренами ρ при глубоком рыхлении определяют по соотношению

$$\rho = \frac{B'}{B} = \sqrt{\frac{P' \cdot \delta}{P \cdot \delta'}} \quad (28.24)$$

Если считать, что водоотдача верхнего пахотного слоя мало меняется после рыхления ($\delta = \delta'$), то коэффициент изменения расстояний между дренами приближенно можно определить по зависимости

$$\rho = \sqrt{\frac{\frac{K'_n}{K} m'_n + \frac{K'}{K} (2m' - m_n - h_L) + 2 \cdot (m - m')}{\frac{K_n}{K} m_n + (2m - m_n - h_L)}} \quad (28.25)$$

Авторами определены [21] степени увеличения расстояний между дренами при глубоком рыхлении тяжелых минеральных почв по годам последействия (табл. 28.21).

Таблица 28.21

Степень увеличения расстояний между дренами при глубоком рыхлении

Периоды после глубокого рыхления	$\frac{K'_n}{K}$	$\frac{K'}{K}$	ρ
Через месяц	3,28	26,0	2,1
1 год	1,83	18,6	1,7
3 года	1,63	6,9	1,4
4 года	1,44	3,1	1,25

Авторы [21] рекомендуют расстояния между дренами в сочетании с глубоким рыхлением рассчитывать по данным о водно-физических свойствах почв на последний год действия (табл. 28.21, 28.). При этом очевидно, что увеличение расстояний между дренами возможно только при периодическом повторении выполнения эксплуатационного глубокого рыхления.

Результаты расчетов возможного изменения дренированности почвы по имеющимся параметрам дренажа по различным вариантам рыхления осушаемых минеральных почв Волынского Полесья выполнены по изложенной методике с имеющимся реальным расстоянием между дренами 20 м (пункт 28.4, рис. 28.) представлены в таблице 28.22.

Таблица 28.22

Расчеты параметров дренажа по различным вариантам рыхления

Варианты рыхления	Без рыхления	Щелевое рыхление	Полосное рыхление	Сплошное рыхление
Расстояния между дренами, м	22 (20)	16 (20)	14 (20)	10 (20)
Степень увеличения дренированности	-	1,38	1,57	2,20

Другими словами, применение глубокого рыхления на фоне существующих параметров дренажа (20 м) по интенсивности дренирования будет отвечать: при щелевом рыхлении – параметрам дренажа 16 м, при рыхлении полосами – 14 м, сплошном рыхлении – 10 м.

Таким образом, рассматриваемую методику целесообразно использовать для условий имеющегося дренажа при определении эффективности применения различных технологий рыхления почвы на действующих осушительных системах Волынского Полесья.

В проектах нового строительства, реконструкции и модернизации осушительных систем обозначенной зоны при определении расстояний между дренами на основе глубокого рыхления осушаемых минеральных почв считаем целесообразным использовать общепринятую формулу на основе разработок А. Я. Олейника и А. И. Мурашко для однородных и слоистых почв в условиях атмосфер-

но-почвенного питания согласно ДБН В.2.4-1-99 [1], поскольку она, в отличие от предыдущей методики, достаточно полно учитывает конструктивные особенности материального горизонтального дренажа и реализуется по расчетной схеме, аналогичной представленной на рисунке 28.22 для случая неглубокого водоупора, когда $m_D \leq E/4$ по формуле

$$E_i = 4 \left(\sqrt{L_{f_i}^2 + \frac{HT}{2q_i}} - L_{f_i} \right), i = \overline{1, n_i}, \quad (28.26)$$

где $h_0 = 0,5H$, м; H – расчетный напор, м; T – водопроницаемость пласта, м/сутки; q – интенсивность инфильтрационного питания, м/сут; k_ϕ – коэффициент фильтрации почв, м/сут.; D – наружный диаметр дрены, м; Φ – фильтрационное сопротивление по характеру вскрытия пласта в зависимости от конструкции дрен, м; L_f – общие фильтрационные опоры по степени и характеру вскрытия пласта, м.

Общее фильтрационное сопротивление по степени и характеру вскрытия пласта определяют как

$$L_f = \frac{m_D}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2m_D}{\pi D} \right) + \frac{2h_0}{m_D} \ln \left(\frac{4h_0}{\pi m_D} \right) + \left(1 + \frac{2h_0}{m_D} \right) \Phi \right], \text{ М}; \quad (28.27)$$

где m_D – расстояние от оси дрены до водоупора, М; E – расстояние между дренами, м.

Расчетный напор определяется по формуле

$$H = h_g - 0,6 \cdot h_0, \text{ М}, \quad (28.28)$$

где h_g – расстояние от поверхности земли до оси дрены; h_0 – норма осушения, м.

Водопроницаемость пласта

$$T = k_\phi \cdot (m_D + h_0), \text{ м}^2 / \text{сут}. \quad (28.29)$$

Улучшение водно-физических свойств минеральных оглеенных почв при их глубоком рыхлении тем самым интенсифицирует работу закрытого дренажа. Объем дренажного стока при глубоком рыхлении растет главным образом из-за увеличения максимальных модулей стока [21].

Четкая тенденция изменения расчетных значений модулей дренажного стока в зависимости от дренажных расстояний с учетом различных технологий по вариантам глубокого рыхления минеральных почв в исследуемых условиях, определенных по формулам 28.26–28.29, прослеживается по данным, представленным в таблице 28.23.

Таблица 28.23

Изменение расчетных значений модулей дренажного стока по параметрам дренажа при различных вариантах рыхления

Варианты рыхления	Расстояния между дренами, м									
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	Модуль дренажного стока, л/с·га									
Без рыхления	0,50	0,36	0,32	0,28	0,22	0,18	0,13	0,10	0,06	0,01
Щелевое рыхление	0,60	0,54	0,50	0,45	0,35	0,32	0,28	0,25	0,20	0,14
Полосное рыхление	0,75	0,7	0,65	0,55	0,50	0,4	0,35	0,30	0,25	0,18
Сплошное рыхление	1,24	1,18	1,10	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30

Приведенные результаты в целом отражают определенную тенденцию степени увеличения междренья при глубоком рыхлении осушаемых минеральных почв, а также убедительно свидетельствуют о том, что только применение глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах исследуемого объекта «Печаливка» обеспечивает поддержание проектных параметров действующего дренажа по расчетному модулю дренажного стока $q_0 = 0,5$ л/с·га для междренного расстояния $E = 20$ м.

28.7. Экономическая и экологическая эффективность глубокого рыхления

28.7.1. Экономическая эффективность глубокого рыхления. Как показывают практика и накопленный опыт использования глубокого рыхления мелиорированных почв в зоне осушения и орошения, оно является рентабельным и экономически выгодным мероприятием, когда срок его окупаемости не превышает одного года.

Традиционно срок окупаемости капиталовложений и расходов в агро-мелиоративных мероприятиях по реализации глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах определяют по формуле

$$T = \frac{K}{ДЧД}, \quad (29.30)$$

где T – срок окупаемости капиталовложений или текущих затрат на реализацию глубокого рыхления, лет;

K – капиталовложения или общие текущие расходы, связанные с проведением рыхления почвы, грн./га;

$ДЧД$ – дополнительный чистый доход или условно чистый доход от реализации глубокого рыхления, грн./га.

Расходы, связанные с проведением рыхления почвы, состоят из затрат на само рыхление и расходы на уборку дополнительной продукции растениеводства в течение последствия рыхления

$$K = K_p + \sum B_d, \quad (28.31)$$

где K_p – расходы на проведение рыхления почвы, грн./га;

B_d – расходы, связанные со сбором полученной дополнительной продукции (прибавка урожая) от глубокого рыхления, грн./га.

Срок действия для полосового и сплошного рыхления составляет до трех лет, а для традиционного щелевого – один год.

Дополнительный чистый доход от проведения рыхления почвы определяют по формуле

$$ДЧД = \sum П_d - K, \quad (28.32)$$

где $П_d$ – дополнительную прибыль за счет прибавки урожая от реализации рыхления почвы за год его действия, грн./га.

Сравнительная экономическая эффективность применения глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах по годам исследований в полевом эксперименте в ценах и расценках 2010 года приведены в таблице 28.24.

Таблица 28.24

Сравнительная экономическая эффективность применения глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах по годам исследований в полевом эксперименте

№ п/п	Варианты рыхления	Год действия	Прирост урожая, ц/га	Стоимость прироста продукции, грн/га	Дополнительные расходы, грн./га			Условно чистая прибыль, грн./га	Срок окупаемости, год
					на проведение рыхления	на сбор дополнительной продукции	всего		
1	Щелевое рыхление	1	13,1	68,16	15	6,18			
		2	1,1	27,5		1,0			
		Среднее:		47,83	15	3,59	18,59	29,24	0,64
2	Полосное рыхление	1	51,6	268,22	25	24,3			
		2	2,6	6,5		5,22			
		3	0,75	18,72		11,5			
		Среднее:		146,72	25	20,56	45,56	101,16	0,45
3	Сплошное рыхление	1	93,25	484,9	35	25,3			
		2	4,7	117,5		5,51			
		3	9,7	242,5		45,2			
		Среднее:		422,45	35	35,01	70,01	352,44	0,20

Кроме текущего дополнительного эффекта, применение глубокого рыхления повышает общую проектную эффективность осушительных систем, в том числе при их реконструкции. Общая экономическая эффективность отражает эффективность проекта с точки зрения общества и экономики страны в целом, учитывает социальную и экологическую значимость проекта. Согласно этому подходу формируются показатели результатов (эффекта) и затрат при экономических расчетах.

Прогнозные значения основных экономических показателей и эффективности исследуемых вариантов глубокого рыхления, полученные по результатам машинного эксперимента с учетом проектной структуры посевов и урожая выращиваемых сельскохозяйственных культур (табл. 28.17) для исследуемых условий приведены в таблице 28.25.

Прогнозные значения основных экономических показателей и эффективности исследуемых вариантов глубокого рыхления, грн./га

№ п/п	Показатель	Варианты рыхления			
		без рыхления	щелевое	полосное	сплошное
1	Остаточная балансовая стоимость системы	12000	12000	12000	12000
2	Текущие расходы:	4528	4489	4193	4012
	- сельскохозяйственные	4294	4196	3871	3602
	- эксплуатационные со стоимостью рыхления	234	293	322	410
	- амортизация основных фондов	360	360	360	360
3	Валовая продукция	4798	5228	5909	6913
4	Чистый доход	270	739	1716	2901

Результаты сравнительной экономической эффективности различных средств и способов глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах по годам исследований как в полевом эксперименте, так и их прогнозных значений свидетельствуют, что все рассмотренные технологии являются рентабельными и экономически выгодными, поскольку срок их окупаемости не превышает один год. При этом применение сплошного рыхления, в отличие от щелевого и полосного, позволяет получить высокий уровень условно чистой прибыли.

Экономия от применения глубокого рыхления почвы можно получить в проектах строительства и реконструкции осушительных систем в результате снижения удельных капитальных затрат за счет увеличения расстояний между дренами, а также из-за сокращения срока окупаемости как остаточной балансовой стоимости систем, так и дополнительных капиталовложений на их модернизацию.

28.7.2. Экологическая эффективность глубокого рыхления. Учет экологических факторов имеет исключительное значение при выборе оптимального варианта технико-технологического решения по средствам и способам глубокого рыхления в мелиоративном проекте по строительству, реконструкции и эксплуатации осушительной системы, который обеспечивает минимум природоохранных затрат и нанесения минимального ущерба окружающей среде.

В общем случае экологическое равновесие (определенное соотношение экологических компонентов экосистемы) представляет собой одну из качественных характеристик проекта, которая в количественном выражении выражается *экологической надежностью* как числовой показатель способности системы обеспечивать экологическое равновесие.

В соответствии с научными работами [6, 15, 19] характеристику экологической надежности варианта мелиоративного проекта по Б. П. Карук можно представить в виде вектора – срока H_z компонентами H_z

$$H = H_z / z; \quad z = 1, 2, \dots, N, \quad (28.33)$$

где N – количество элементов, характеризующих экологическую надежность мелиоративного проекта.

Здесь компоненты H_z принимают соответствующие значения при условии, что

$$H_z = \begin{cases} 1, & \text{если } H_z \leq H_{nz}; \\ 0, & \text{если } H_z > H_{nz}, \end{cases} \quad (28.34)$$

где H_{nz} – нормативное, критическое или допустимое значение z -го элемента.

Данный подход к оценке экологической надежности проекта позволяет в зависимости от постановки задачи использовать различные, преимущественно экспертные, методы оценки и любой комплекс разнородных показателей. Если допустить, что в системе экологических факторов все они одинаково важны, можно отсутствие определенного элемента считать как соответствующее уменьшение степени экологической надежности.

Тогда коэффициент экологической надежности k_n любого варианта мелиоративного проекта определяется по формуле

$$k_n = \frac{\sum_{z=1}^N H_z}{N}. \quad (28.35)$$

Такой коэффициент позволяет получить приближенную оценку экологической устойчивости мелиоративного проекта через степень учета факторов экологической надежности.

Шкала ранжирования экологической надежности мелиоративного объекта с соответствующими значениями коэффициента представлена в таблице 28.26.

Таблица 28.26

Шкала ранжирования коэффициента экологической надежности k_n

№ п/п	Значение коэффициента экологической надежности	Градация уровней экологической надежности системы
1	0,00 ... 0,25	ненадежная
2	0,26 ... 0,50	недостаточно надежная
3	0,51 ... 0,75	достаточно надежная
4	0,76 ... 1,0	надежная

Такая схема оценки экологической надежности мелиоративных проектов является универсальной, поскольку в качестве составляющих элементов надежности может выступать любой комплекс факторов, как количественных, так и качественных, характеризующих эколого-мелиоративное состояние территории.

Экологические последствия от реализации мелиоративных проектов могут быть оценены по группам физических показателей, которые выбраны в качестве критериев экологической эффективности. В качестве таких критериев, по научным работам [6, 13, 15], могут выступать: глубина УГВ, влажность и степень разрыхленности почвы, надежность поддержания благоприятного водного режима, влагообмена, оросительные нормы, фильтрация, сбросы воды, уровень техногенной нагрузки и др. Необходимые значения показателей экологической эффективности для определения k_n по вариантам проектных решений, которые рассматриваются, находятся путем реализации прогнозно-имитационных расчетов по соответствующим методам, моделям и их информационному обеспечению [11,12,17 и др.]. Сравнительная характеристика определенных расчетных значений совокупности обобщенных показателей экологической эффективности и определенного по ним коэффициента экологической надежности осушаемых минеральных почв по вариантам их глубокого рыхления дана в таблице 28.27.

Таблица 28.27

Сравнительная характеристика обобщенных показателей экологической эффективности и коэффициента экологической надежности по вариантам глубокого разрыхления

№ п/п	Показатели	Варианты рыхления			
		без рыхления (контроль)	щелевое	полосное	сплошное
1	IW	0,562	0,589	0,622	0,617
2	n (IW)	0,57	0,58	0,63	0,65
3	OR	2435	2502	2561	2612
4	EF	2654	2678	2693	2728
5	VI	-251	-263	-271	-266
6	n (VI)	0,3	0,3	0,28	0,26
7	VP	430	416	365	373
8	n (VP)	0,7	0,7	0,72	0,74
9	V	180	154	94	107
10	IC	1,276	1,267	1,273	1,261
11	fr	0,548	0,559	0,551	0,559
12	σ	37,95	35,17	31,42	27,13
13	χ	0,8	0,88	0,99	1,16
Обобщенный критерий экологической надежности					
14	k_n	0,31	0,37	0,46	0,52

Примечание. Как показатели экологической эффективности рассмотрены: IW – уровень влагообеспеченности расчетного слоя почвы, ц/га; n (IW) – длительность (доля) оптимальной влагообеспеченности расчетного слоя почвы в течение периода вегетации, ц/га; OR – величина атмосферных осадков, м³/га; EF – соответствующая величина эффективного значения суммарного испарения, м³/га; VI – соответствующая величина инфильтрации, м³/га; n (VI) – продолжительность (доля) инфильтрации в течение периода вегетации; VP – величина питания расчетного слоя почвы с УГВ, м³/га; n (VP) – длительность (доля) питания расчетного слоя почвы с УГВ в течение периода вегетации; V – соответствующая величина суммарного влагообмена, м³/га; IC – комплексный показатель влагообеспеченности почвы (отношение приходной к расходной составляющей водного баланса); fr – относительный показатель погодно-климатического риска урожайности; σ – удельный показатель израсходованной воды на формирование единицы урожая (отношение суммарного испарения к величине урожая), м³/ц; χ – среднее значение КПД ФАР выращиваемых культур, %.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что применение различных средств и способов глубокого разрыхления обеспечивает различные уровни экологической надежности осушаемых ми-

неральных почв. При этом применение сплошного разрыхления, в отличие от щелевого и полосного, повышает коэффициент экологической надежности мелиорированных почв с 0,31 – *экологически ненадежного* до 0,52 – *экологического надежного* его значения и тем самым обеспечивает поддержание благоприятного эколого-мелиоративного состояния осушаемых минеральных почв.

28.7.3. Инвестиционная оценка применения глубокого рыхления. Современное состояние отрасли водного хозяйства и мелиорации земель характеризуется наличием комплекса проблем, в том числе экономического и экологического характера, связанные прежде всего с отсутствием надлежащего финансирования из-за незаинтересованности как со стороны государства, так и со стороны потенциальных частных инвесторов. Их решение возможно при условии реформирования организационно-экономических отношений в отрасли, появления новых источников и форм финансирования водохозяйственно-мелиоративных проектов и внедрения новых экологически совершенных технологий.

Такие изменения соответственно требуют введения новых форм и методов управления, в первую очередь обоснования экономически и экологически выгодных стратегий хозяйствования, усовершенствования существующего механизма эколого-экономической оценки мелиоративных проектов. Это приведет к повышению инвестиционной привлекательности отрасли и ее развития в направлении экологизации производства. Ведь именно обоснованность экономической целесообразности и экологической надежности таких проектов является необходимым условием и стимулом для их финансирования как за счет государственных, так и частных инвестиций в современных условиях.

В соответствии с литературными данными [16, 19] для проектов, которые имеют общехозяйственное значение и финансируются за счет государственных средств, обязательным является расчет *общей экономической эффективности* по всему объему выращенной продукции, что отражает эффективность проекта с точки зрения экономики страны в целом.

В случаях, когда реализация мелиоративного проекта происходит при участии частного капитала (отдельных землепользователей, хозяйств, их объединений и т. п.) или кредитных ресурсов, необходимо рассчитывать коммерческую эффективность, но в Украине пока нет развитого механизма финансирования мелиоративных мероприятий за счет частных землепользователей.

Инвестиционное оценивание оптимального варианта ПР выполняется по анализу основных показателей, используемых при расчете инвестиционной привлекательности мелиоративного проекта: индекс доходности инвестиций (ИДИ), чистый дисконтированный доход (ЧДД), внутренняя норма доходности (ВНД) и дисконтированный срок окупаемости (ДСО) инвестиций.

При этом оптимальным вариантом проектного решения будет тот, для которого

$$ИДИ_0 = \max_{\{i\}} (ИДИ_i), i = \overline{1, n}, \quad (28.36)$$

при условии, что

$$\begin{cases} ЧДД_i \geq 0; \\ ВНД_i \geq d_i; \\ ДСО_i \geq T_{np}. \end{cases} \quad (28.37)$$

где d_i – норма дисконта по варианту проектного решения; T_{np} – приемлемый для инвестора дисконтированный срок окупаемости вложений.

Обобщенные исходные данные для инвестиционной оценки эффективности различных вариантов глубокого рыхления по соответствующим проектным решениям приведены в таблице 28.27. Соответственно обобщенные результаты по определению общей эффективности различных вариантов глубокого рыхления по соответствующим методам и моделям согласно научным работам [16, 19], приведены в таблице 28.28. Приведенные расчеты по определению экономической эффективности и инвестиционной оценки различных вариантов глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах Волынского Полесья Украины подтверждают достаточную экономическую эффективность их применения.

Таблица 28.28

Основные показатели экономической эффективности инвестиций

№ п/п	Показатель	Варианты рыхления			
		без рыхления	щелевое	полосное	сплошное
1	Индекс доходности инвестиций	0,59	1,03	1,95	3,06
3	Чистый дисконтированный доход, грн./га	-4908	377	11369	24708
4	Дисконтированный срок их окупаемости, годы	-	27	9	5

Таким образом, все рассмотренные технологии глубокого рыхления являются рентабельными и экономически выгодными, поскольку срок их окупаемости в условиях существующего дренажа не превышает один год, при этом наиболее эффективным оказалось глубокое сплошное рыхление, применение которого является инвестиционно выгодным также при реализации проектов нового строительства и реконструкции осушительных систем в указанной зоне. При этом применение технологии и технического средства глубокого многоярусного сплошного рыхления осушенных минеральных почв является высокотехнологичной инновационной разработкой и соответствует современным принципам адаптивного землепользования, которое, в отличие от трансформационного, предусматривает максимальное приспособление агромерелиоративных мероприятий к природно-климатическим и почвенным условиям, оптимальное вовлечение в оборот природно-ресурсного потенциала ландшафтов, расширенное воспроизводство и охрану мелиорированных земель.

Литература

1. ДБН В.2.4.-1-99 «Мелиоративні системи і споруди». – Київ, 2000. – 174 с.
2. Зайдельман Ф. Р. Глубокое рыхление и бестраншейный дренаж в Нечерноземной зоне: перспективы и ограничения // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 6.
3. Качинский Н. А. Оценка основных физических свойств почв в агрономических целях и природного плодородия их по механическому составу // Почвоведение – 1958.
4. Кожушко Л. Ф. Совершенствование дренажных систем : монография. – Ровно: Изд-во РДТУ, 2001. – 279 с.
5. Кравец С. В. Почвозащитные и энергосберегающие машины для прокладки подземных коммуникаций. – Ровно: РДТУ, 1999. – 277 с.
6. Методические рекомендации по экологически оптимальным режимам мелиорированных почв гумидных зон Украины / С. Т. Вознюк, А. М. Рокочинский, В. С. Мошинский [и др.]. – Ровно, 2005. – 50 с.
7. Научно-методические рекомендации к применению глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах Западного Полесья Украины / В. С. Гавриш, В. Ф. Ткачук, С. В. Кравец [и др.]. – Ровно, 2013. – 46 с.
8. Олейник В. С. Водно-физические свойства переувлажнённых минеральных почв Западного Полесья УССР и их улучшение в условиях дренажа : дис. ... канд. с.-х. наук. – Киев, 1973. – 154 с.
9. Патент 76118 (Украина). Рабочий орган составителя-разрыхлителя / С. В. Кравец, В. Ф.Ткачук, А. Л. Романовский [и др.]. А.В. 22.02.2003. Бюл. № 7.
10. Патент 81348 (Украина). Многоярусный ковш рабочий орган / С. В. Кравец, В. Ф.Ткачук, А. Л. Романовский [и др.]. 20.07.2007. Бюл. № 15.
11. Пособие к ДБН В.2.4-1-99 «Мелиоративные системы и сооружения» (Раздел 3. Осушительные системы). Метеорологическое обеспечение инженерно-мелиоративных расчетов в проектах строительства и реконструкции осушительных систем / А. М. Рокочинский, А. И. Галик, В. А. Стишки [и др.]. – Ровно, 2008. – 64 с.
12. Пособие к ДБН В.2.4-1-99 «Мелиоративные системы и сооружения» (Раздел 3. Осушительные системы). Обоснование эффективной проектной урожайности на осушаемых землях при строительстве и реконструкции мелиоративных систем / А. М. Рокочинский, С. В. Шалай, В. А. Стишки [и др.]. – Ровно, 2006. – 50 с.
13. Рокочинский А. М. Научные и практические аспекты оптимизации водорегулирование осушаемых земель на эколого-экономических основах : монография. – Ровно: НУВГП, 2010. – 351 с.
14. Степанюк А. А. Обоснование технологии глубокого многоярусного сплошного разрыхления осушаемых минеральных почв : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02. – Ровно, 2013. – 20 с.
15. Временные рекомендации по оптимизации водорегулирования осушаемых земель в проектах строительства и реконструкции водохозяйственно-мелиоративных объектов / А. М. Рокочинский, В. А. Стишки, В. Д. Дупляк [и др.]. – Ровно, 2010. – 52 с.
16. Временные рекомендации по оценке инвестиционных проектов строительства и реконструкции водохозяйственных объектов и мелиоративных систем / А. М. Рокочинский, В. А. Стишки [и др.]. – Ровно, 2013. – 43 с.
17. Временные рекомендации по прогнозной оценке водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель в проектах строительства и реконструкции мелиоративных систем / А. М. Рокочинский, В. А. Стишки, В. Д. Дупляк [и др.]. – Ровно, 2011. – 54 с.
18. Ткачук В. Ф., Лукьянчук А. П., Рыжий А. П. Агромерелиоративные многоярусные глубокорыхлители : монография. – Ровно, 2011. – 190 с.
19. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинский А. М. Эколого-экономическое оценивание в управлении мелиоративными проектами : монография. – Ровно: НУВГП, 2007. – 257 с.
20. Чернёнок В. Я. Способы мелиорации переувлажнённых почв в Нечерноземье // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 3. – С. 49–53.
21. Чернёнок В. Я., Брусиловский Ш. И. Глубокое рыхление осушаемых тяжелых почв. – М.: Колос, 1983. – 63 с.
22. Чернёнок В.Я., Стариков Х.Н. Эффективность глубокого рыхления тяжелых почв в нечерноземной зоне // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 5. – С. 52–55.
23. Шалай С. В., Рокочинский А. М. Оценка производительности осушаемых земель по долгосрочным прогнозом : монография. – Ровно: НУВГП, 2011. – 149 с.

Глава 29. ВОЗОБНОВЛЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

29.1. Особенности возобновления мелиоративных систем

В современных условиях значительная часть мелиоративных систем не обеспечивает в полной мере беспрепятственный отвод поверхностных и грунтовых вод и требует их восстановления. Кроме того, в последнее время развитие аграрного производства в лесостепной и полесской зонах характеризуется широкой закладкой промышленных садов и ягодников на основе систем капельного орошения, часто расположенных на территории осушительных систем. Этому способствуют и значительные изменения погодно-климатических условий, меняющих температурный режим в Полесье.

Принадлежность территорий к гумидной (влажной) физико-географической зоне, наличие бессточных понижений, дополнительное поступление воды при поливах обуславливают необходимость решения проблемы восстановления осушительных систем, создание дополнительных источников орошения, защиты земель от затопления, подтопления и переувлажнения, мониторинга грунтовых вод и влажности почвы, обеспечения оптимальных режимов орошения и надежной эксплуатации мелиоративной сети и т. п. В периоды высокой водности, особенно во влажные годы, при выпадении интенсивных атмосферных осадков и бурного снеготаяния уровни грунтовых вод на массивах насаждений должны залегать на глубине не менее 1 м от поверхности земли [1, 2, 15, 17].

Показательный пример – хозяйство с. Небелица Макаровского района Киевской области, на осушительных системах которого в 2015–2016 гг. заложены участки черешневого сада, голубики, земляники и других культур на общей площади около 100 га. Для обеспечения нормального развития и длительного функционирования насаждений на участках хозяйства необходимо не допустить опасного подъема грунтовых вод в зону корневой системы и усыхания сада, восстановить работу осушительной системы, создать дополнительные источники орошения и построить оросительную систему.

29.2. Природные условия района исследований

Земли хозяйства размещены на территории стыка Полесской низменности и Приднепровской возвышенности на границе полесской и лесостепной зоны [8–10, 13]. Абсолютные высоты участка над уровнем моря – 179–182 м. Участки насаждений расположены на водораздельной территории между речью Здвиж – Тетерев (рис. 29.1). Уровень воды в р. Здвиж находится на отметке 150 м, р. Тетерев – 131 м, р. Белке – 146 м. Перепад высот между территорией и водоприемником составляет более 30 м. Плотность овражно-балочной сети достигает 0,1 км/км². Территория участка граничит с верхушками водосборов правых притоков р. Тетерев – рек Раковичи и Гусь (правых притоков р. Белки) и р. Гульва (правого притока р. Кодра). Земли хозяйства расположены в верховьях р. Небелица, территория полностью осушена открытыми каналами и густой коллекторно-дренажной сетью закрытого типа.

Поверхностная толща дренированных почв характеризуется значительной пространственной изменчивостью и представлена почвенно-растительным слоем (преимущественно суглинки средние, реже легкие и супеси мощностью от 0,3 до 0,8 м), подстилаемым супесчано-суглинистыми отложениями, ниже их с глубины 0,9–1,65 м залегают пески, чаще глинистые, местами глина с включениями песка (рис. 29.2).

Почвы участка дерново-подзолистые и подзолисто-дерновые оглеенные супесчаные; дерновые глубокие неоглеенные и оглеенные легкосуглинистые и их оподзоленные разновидности; дерновые неглубокие оглеенные легкосуглинистые; дерновые глубокие и луговые глеевые и их оподзоленные разновидности; дерново-подзолистые и легкосуглинистые; дерново-подзолистые оглеенные супесчаные. По инженерно-геологической классификации почвы по отобраным образцам относятся к таким литологическим разновидностям: суглинок средний, супесь тяжелая, суглинок средний, супесь тяжелая, суглинок средний, суглинок средний пылеватый.

По степени общей минерализации (сухой остаток) вода относится к классу пресных (до 1000 мг/дм³); по гидрохимическому типу она гидрокарбонатная магниевая-кальциевая. По величине водородного показателя (рН) она практически нейтральна (6,5–7,5). Размер общей (по Са и Mg) жесткости (твердости) составляет 2,6 мг-экв/дм³, то есть воду можно отнести к группе жестких (твердых).

С позиции оценки качества грунтовых вод для орошения по агрономическим критериям по ДСТУ 27.30-94 «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії» она относится к I классу (пригодна) – по опасности вторичного засоления и осолонцевания почв и к III классу (непригодна) – по опасности подщелачивания почвы. По содержанию железа общего (0,4 мг/дм³) согласно ДСТУ 7286:2012 «Якість природної води для зрошування. Екологічні критерії» вода относится к I классу (менее 2,0 мг/дм³), но в условиях применения капельного орошения – ко II классу (более 0,3 мг/дм³).

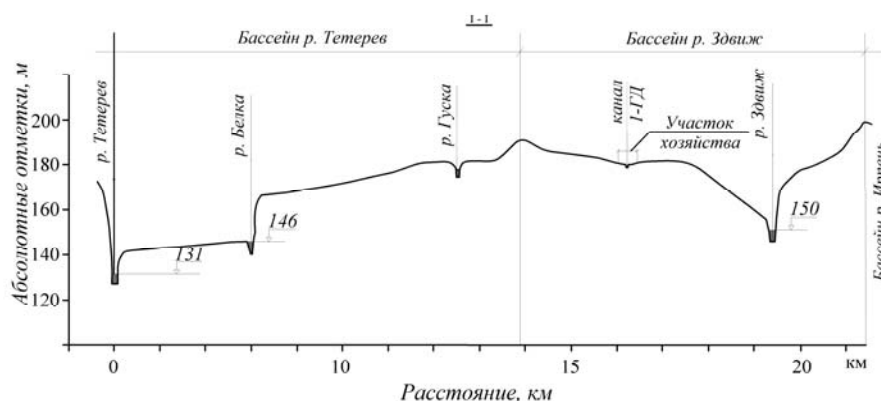
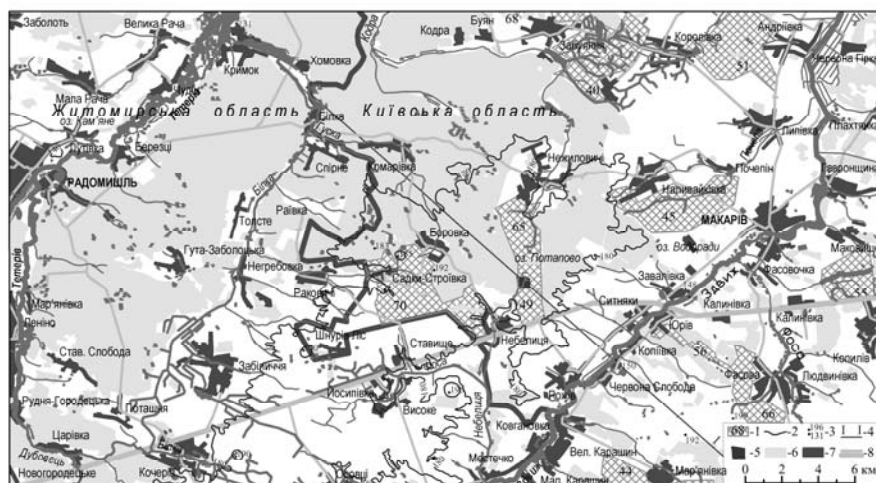


Рис. 29.1. Схема расположения участка хозяйства на междуречье Здвиж-Тетерев (с. Небелица Макаровского района Киевской области):

1 – мелиоративные системы (обозначены цифрами); 2 – горизонталы местности; 3 – абсолютные отметки поверхности земли (уровня воды), м; 4 – створ; 5 – участок хозяйства; 6 – лес; 7 – населенные пункты; 8 – дороги

Скважина 11 (участок 2)

Литологическая колонка	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность, м	Описание пород
3 3 3	0,25	0,25	Почвенно-растительный слой - супесь коричневый, серо-коричневый, средний до легкого, слабогумусированный
	0,60	0,35	Супесь серо-желтый, пылеватый, твердый, с ожелезнением
	0,90	0,30	Суглинок коричнево-бурый, буровато-коричневый, твердой консистенции, омарганцованный
	1,30	0,40	Песок желтый, тонко- и мелко- зернистый, в верхней части слабоглинистый, ожелезненный (пятна), свежий
	1,40	0,10	Супесь коричневый, средний, твердый
	1,50	0,10	Супесь светло-сизый средний, пластический
	2,00	0,50	Песок темно-желтый до рыжего, глинистый, с включением глины сизой и прослойкой (1,70-1,75 м) суглинка светло-серого
УГВ(2,14)	3,00	1,00	Песок темно-желтый, тонкозернистый, с 2,3 м - рыжий, мелко- и среднезернистый, с зернами кварца и кристаллических пород и включением глины серой, водоносный

Рис. 29.2. Геологическая колонка на участке хозяйства (скважина 11, участок 2, 08.04.2015)

29.3. Характеристика и состояние осушительной системы

Земли хозяйства расположены на осушительной системе «Небелица» (рис. 29.3). Общая площадь системы составляет 185,3 га. Проект системы дренажа разработан институтом «Укркипродхоз». Строительство ее выполнено ПМК-167 (закрытый дренаж, открыта сеть, гидротехнические сооружения, культуртехнические работы) и ПМК-55 (открытая сеть) треста «Киевводстрой». Система сдана в эксплуатацию в 1990 г.

Осушительная система состоит из водоприемника 1-ГД, осушительного канала 1-4 Д и закрытого дренажа. Водоприемник 1-ГД представляет собой открытый осушительный канал, проложенный на днище балки при расчистке русла р. Небелица. Длина водоприемника – 4,5 км. Длина осушительного канала 1-4 Д – 300 м. Проектная глубина дренажных каналов – 1,8–2,8 м. Продольный профиль дренажного канала приведен на рисунке 29.4.

На открытых каналах находятся 3 трубчатых переезда-регулятора (пикеты 36 + 10 и 41 + 00 на 1-ГД и 1 + 75 на 1-4 Д) и 13 дренажных устьев. Трубчатые переезды оборудованы коробчатыми затворами. Дренажные устья представляют собой асбестоцементные трубы, уложенные на специальные железобетонные блоки, к которым подсоединяются закрытые коллекторы. Дренажные устья размещены выше дна канала на 40 см и более.

Система закрытого дренажа включает 13 коллекторов и 271 дрену общей протяженностью 45 225 м, из них 4560 м коллекторов и 37 535 м дрен.

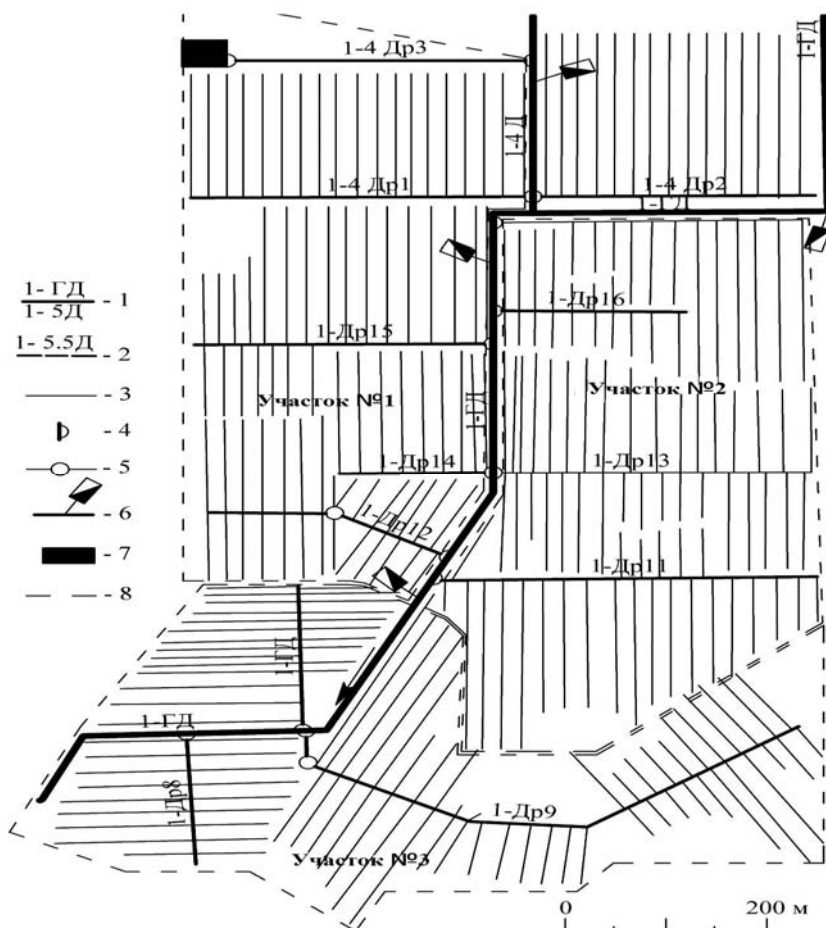


Рис. 29.3. Схема дренажа на участке хозяйства:

1 – дренажный канал; 2 – закрытый коллектор; 3 – закрытая дрена; 4 – дренажное устье; 5 – смотровой колодец; 6 – трубчатый переезд (регулятор); 7 – искусственный водоем; 8 – границы участков

Удельная протяженность коллекторно-дренажной сети на участке составляет 611 м/га, из них 61 м/га коллекторов, 507 м/га дрен. Расстояния между дренами 10–20 м. Глубина заложения дрен 1,0–1,2 м, закрытых коллекторов – 1,0–1,6 м. Дрены выполнены преимущественно из гофрированных перфорированных труб диаметром 63 мм. Ширина пространства между гофрами 10 мм. Перфорация труб круглая, шестирядная, равномерная. Диаметр отверстий 2 мм, шаг в ряду 30 мм, расстояние между рядами 25 мм. Отверстия перфорации размещены в котловине между гофрами. В поперечном разрезе находится 2 отверстия, что обеспечивает прочность трубы.

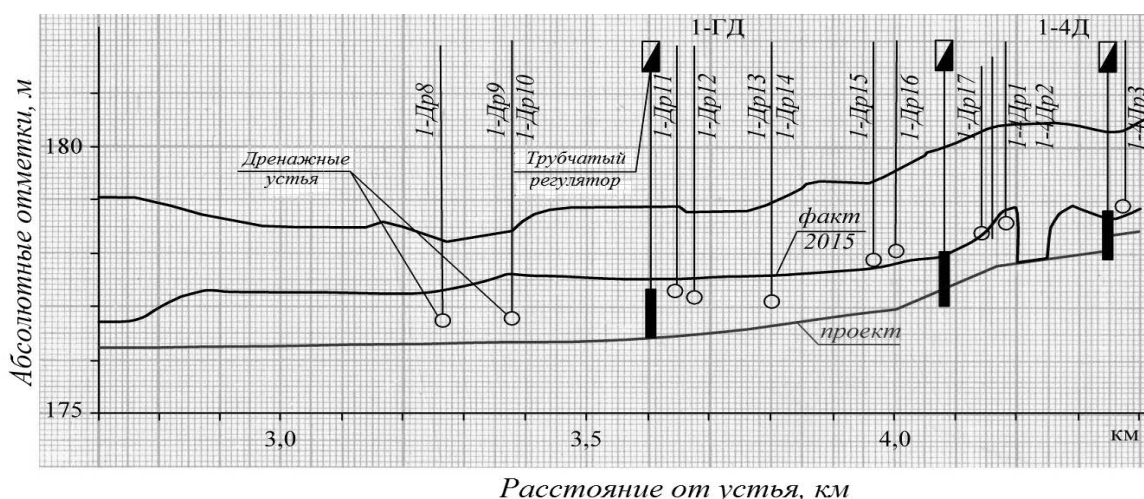


Рис. 29.4. Продольный профиль дренажных каналов на участке хозяйства

Водосборные коллекторы построены из пластмассовых ПВХ труб диаметром 110 мм и ПВХ труб диаметром 100 и 150 мм. Дренажные трубы обернуты мелиоративным нетканым полотном в 2 слоя целиком толщиной 1–2 мм, которые обеспечивают формирование вокруг труб оболочки с искусственного защитно-фильтрующего материала (ЗФМ).

На коллекторах 1-Др 9 и 1-Др 12 устроены дренажные смотровые колодцы, расположение которых приурочено к повороту коллектора в плане. Колодец на коллекторе 1-Др 12 находится на днище бессточного понижения.

Глубины залегания уровня грунтовых вод и оценка состояния подтопления земель хозяйства проводилась на двух участках с общей площадью 44,4 га. Площадь участка № 1 составляет 21,8 га, участка № 2 – 22,6 га (без площади под открытым каналом).

В марте-апреле 2015 г. на участке хозяйства уровни грунтовых вод залегали на глубинах от 0,7 до 3,0 м (рис. 29.5). Минимальные значения УГВ (до 1,0 м) зафиксированы в приканальной зоне на территории и в отдельных небольших бессточных понижениях. Максимальные УГВ (более 2,0 м) характерны для повышенной (восточной) части участка. Обводненными являются преимущественно пески, реже супеси и суглинки.

Площадь земель на участке хозяйства с уровнями грунтовых вод до 1 м составляет 2,05 га, от 1,0 до 1,5 м – 16,7 га, от 1,5 до 2,0 м – 15,2 га, 2, 0–2,5 м – 10,5 га.

Необходимо отметить, что по климатическим условиям период исследований (март-апрель 2015 г.) относится к маловодным. Во влажные годы следует ожидать более высоких УГВ.

Таким образом, на участке хозяйства в пределах дна балок и бессточных понижений находятся территории, которые склонны к развитию процессов затопления и подтопления. Площадь земель с глубинами залегания до 1,0 м составляет 2,05 га, от 1,0 до 1,5 м – 16,7 га. Во влажные годы указанные площади станут зоной риска по развитию подтопления и затопления.

На участках № 1 и 2 осушительная система находится в неудовлетворительном состоянии вследствие заиления осушительного канала и дренажных устьев на нем (рис. 29.6). Закрытый полевой дренаж на большей части площадей участков находится в нормальном состоянии (рис. 29.7). Для обеспечения беспрепятственного отвода поверхностных и дренажных вод на участках № 1 и 2 в апреле 2012 г. проведена очистка канала от заиления и частично от зарастания деревьями, кустарником и камышом. Указанное мероприятие обеспечило углубление русла канала на 0,3–0,7 м. Вместе с тем в связи с необходимостью накопления воды для поливов в канале был создан подпор воды, который не привел к компенсации высот вследствие его заиления.

Дренажные устья на канале остались заиленными и подтопленными. Больше подтопления наблюдалось в районе пруда, созданного на канале (дренажные коллекторы 1-Др 8, 1-Др 9, 1-Др 10). В связи с этим канал потерял дренирующую способность, создавал подпоры грунтовых вод и приводил к их подъему на прилегающих территориях. Для восстановления работы осушительного канала необходимо создать новый источник орошения за его пределами. Лучшим местом для этого может быть выкопанный водоем на днище бессточного понижения в районе созданного пруда.

Для защиты участка от подтопления и затопления важное значение имеет существующая осушительная система. По результатам обследования дренажа 28 марта, 8 и 16 апреля 2015 г. установлено, что на участке хозяйства осушительная система находится в техническом состоянии, которое в общем не соответствует проектным показателям.

Открытый дренажный коллектор – канал 1-ГД к очистке на большей части протяженности находился в заиленном состоянии (рис. 29.8). Высота заиления достигала 0,5–0,7 м. На канале 1-4 Д находились две бобровые плотины высотой 0,3 и 0,5 м, длиной около 3 м. Подверглись заилению большинство дренажных устьев, кроме коллектора 1-Др 16. Канал обеспечивал формирование зоны влияния кривых депрессий шириной до 200–300 м (рис. 29.9).

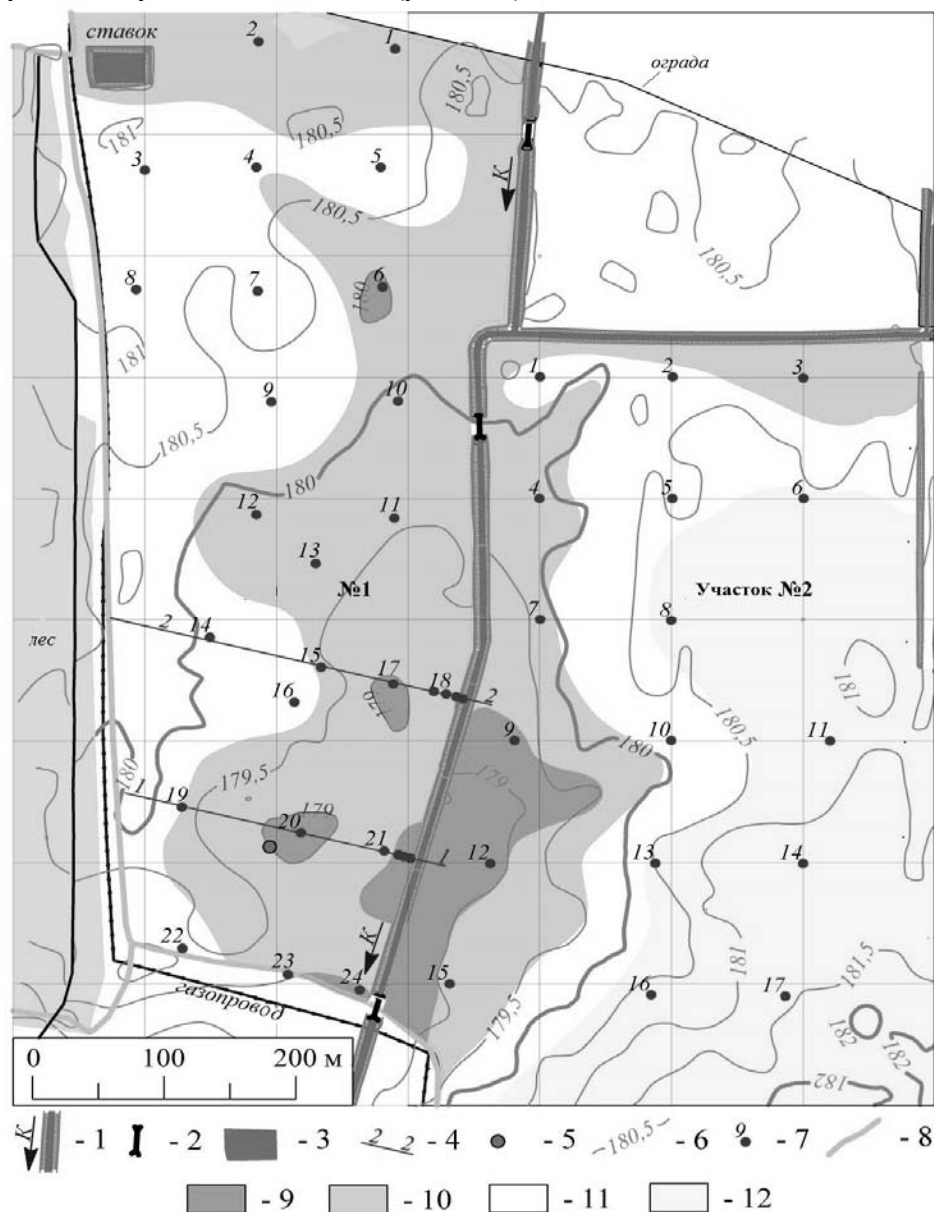


Рис. 29.5. Карта глубин залегания уровней грунтовых вод на участке хозяйства (28.03 и 08.04.2015):

- 1 – дренажный коллектор открытого типа; 2 – трубчатый переезд на коллекторе; 3 – пруд;
- 4 – створ наблюдательных скважин; 5 – смотровой дренажный колодец; 6 – горизонтали местности;
- 7 – буровые скважины; 8 – полевая дорога; 9–12 – глубины залегания уровня грунтовых вод: до 1 м (9), 1,0–1,5 м (10), 1,5–2,0 м (11), более 2,0 (12)

Склоны канала достаточно устойчивы, что обусловлено образованием густого травяного покрова с развитой корневой системой. На отдельных участках канала растут деревья: на днище – ива, на склонах – береза, на бровке – сосна.

В верхьях канала наблюдается заметное течение воды, в низине – ее подпор.

По данным обзора канала после его очистки установлено, что осушительные системы выведены из строя в результате заиления дренажных устьев. В дренажном смотровом колодце на коллекторе 1-Др 12 наблюдался подпор воды над дренажными трубами высотой около 10 см, что подтверждает негативное влияние заиления и подпора дренажных устьев со стороны канала.

Таким образом, при условии восстановления и обеспечения надлежащего технического состояния существующая осушительная система на участке хозяйства будет служить мощным средством защиты территорий от подтопления.



Рис. 29.6. Техническое состояние устьев закрытого горизонтального дренажа

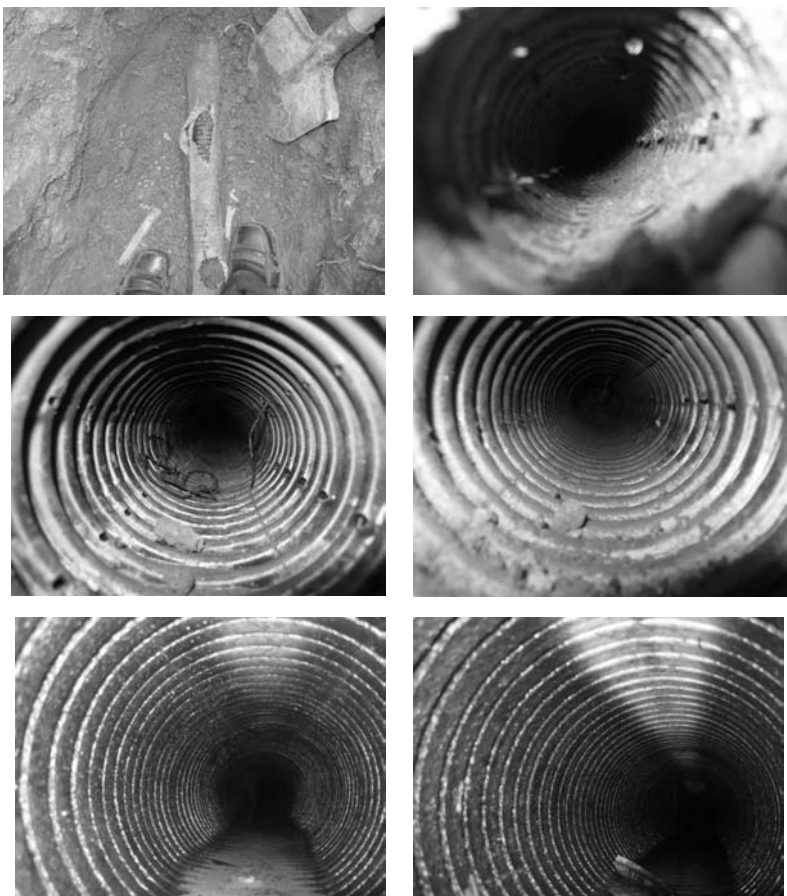


Рис. 29.7. Состояние закрытого пластмассового дренажа различных конструкций после 25 лет



Рис. 29.8. Состояние осушительного канала 1-Др до и после очистки

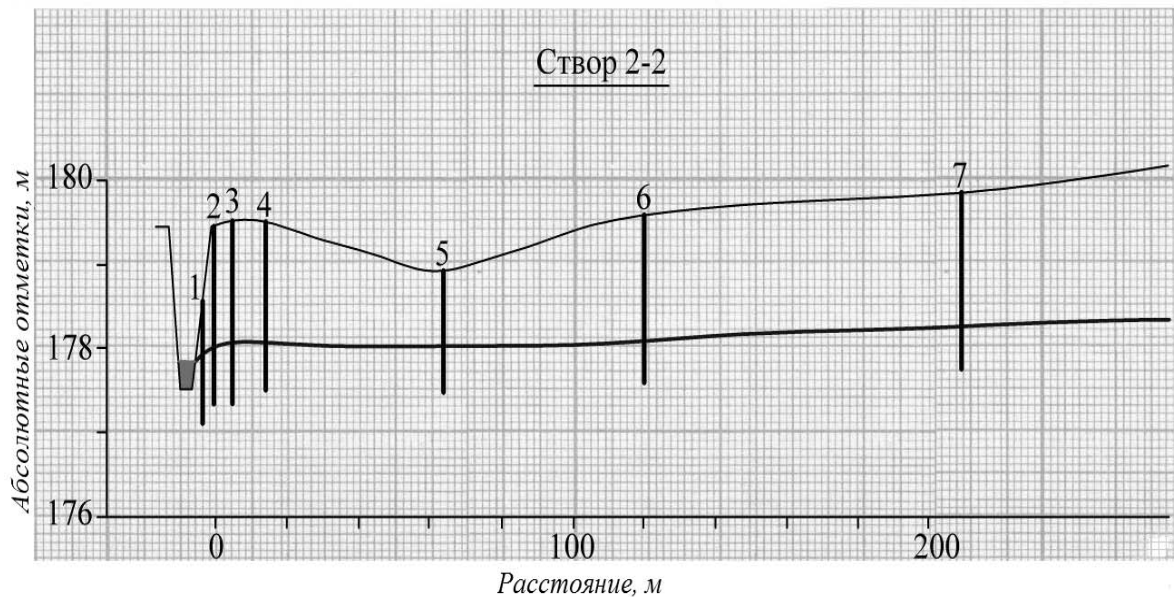


Рис. 29.9. Кривая депрессии и зона влияния дренажного канала 1-Др

На основании обследований и раскопок дренажа на всех рассмотренных объектах можно сделать следующие выводы:

- заилиние дренажных устьев преимущественно происходит сбоку открытых каналов;
- длина заиленных участков в устьевой части составляет от 2 до 12 м в зависимости от глубины воды в канале;
- по длине всего наибольшее заилиние наблюдается при больших подпорах в канале и их наименьшее заилиние при незначительных подпорках;
- высота заилинения составляет 100 % от диаметра трубы;
- полевые дрены не испытывали заилинения.

Анализ результатов раскопок показал, что общая длина коллекторов, которые нуждаются в восстановлении, составляет около 200 м.

Незначительные длины участков заиленных коллекторов дают основание при восстановлении дренажа рекомендовать замену существующих дренажных труб на обычные.

29.4. Комплекс мероприятий по возобновлению осушительных систем

Для продления эксплуатации и успешной дальнейшей работы мелиоративные системы должны отвечать всем требованиям, которые предусмотрены для только построенных [3–7, 14, 16, 17, 19–21], а именно:

- проведение гидрометрических наблюдений, контроль за мелиоративным состоянием земель, оценка влияния мелиорации на окружающую среду, прогноз изменений природной ситуации;
- регулирование водно-воздушного режима в корнеобитаемом слое почвы в зависимости от требований сельскохозяйственных культур и фаз развития растений в течение вегетационного периода;
- управление водными ресурсами мелиорированных территорий, защита от вредного воздействия вод и других природных факторов, организация противопожарных мероприятий на осушенных торфяниках.

Зарубежный опыт и практика показали, что на современном этапе значительное внимание уделяется восстановлению работы существующих мелиоративных систем, что обусловлено необходимостью обеспечения населения продовольственными товарами местного производства. Например, в Эстонии [21] восстановление работы осушительных систем заключается в выполнении комплекса работ, который включает расчистку русла открытых коллекторов от наносов грунта и растительности, обустройство крепления дна и откосов с использованием новых материалов и проверенных технических решений, восстановление трубчатых переездов на основе труб повышенной прочности, устройство вдоль каналов эксплуатационных дорог с использованием геотекстильных материалов, расчистку водоприемных и смотровых колодцев закрытого дренажа, восстановление открытых водоемов и др. (рис. 29.10) [3–7, 14, 16, 17, 19, 20].

Комплекс мероприятий по продлению эксплуатации систем закрытого горизонтального дренажа (СЗГД)			
Водоприемники	Открытые каналы внутрихозяйственной сети	Закрытый дренаж	Дренажные насосные станции
Эксплуатационные и восстановительные мероприятия, подготовка к пропуску паводков			
Проведение производственных исследований, детальных массовых обследований, инвентаризации технического состояния			
Оценка технического состояния, определения объемов ремонта, реконструкции			
Организация агромелиоративного мониторинга, гидрогеолого-мелиоративного состояния земель			
Составление проектов капитального ремонта и реконструкции дренажа			
Реконструкция осушительных систем и сельскохозяйственных угодий, изменение технологических решений, консервация, ренатурализации, списание мелиорированных земель			
Восстановление и развитие эксплуатационных дорог		Восстановления дрен: устранение повреждений, замена дрен	Обеспечение бесперебойной работы электронасосов
Очистка русел Ликвидация самодельных и бобровых плотин Развитие систем защиты от затопления и подтопления (регулирование русел, водозащитные дамбы, отсекающие каналы, водохранилища)		Реконструкция дренажа	Очистка подводных каналов и аванкамер от ила и посторонних предметов
Устройство дренажных устьев: очистка от ила, растительности, замена устьевых труб, защитных сеток, установка знаков, мерных реек			Замена насосов, установка счетчиков воды
Восстановление и развитие лесополос, водоохраных зон	Укрупнение дренажных систем закрытого типа с использованием пластиковых и бетонных труб диаметром 300 мм и более		Устранение порывов на напорных трубопроводах
Берегоукрепление		Увеличение плотности дренажа (до 400 – 500 м/га)	Модернизация, замена систем с ДНС на самоотечное водоотведение

Рис. 29.10. Структура комплекса мероприятий по продлению эксплуатации систем горизонтального дренажа

Для обеспечения функционирования систем горизонтального дренажа (СГД) с длительным сроком эксплуатации в проектном режиме осуществляется комплекс мероприятий, основными элементами которого являются:

- 1) обеспечение функционирования водоприемника, магистральных и главных каналов;

- 2) восстановление и развитие сети эксплуатационных дорог;
- 3) реконструкция и модернизация дренажных систем;
- 4) восстановление дренажных насосных станций;
- 5) мониторинг мелиорированных территорий, систем и сооружений.

Обеспечение функционирования водоприемника, магистральных и главных каналов предусматривает поддержание их в рабочем состоянии и развитие сети, проведение эксплуатационных работ по изъятию древесно-кустарниковой растительности, очистку днища и склонов канала от ила, тростника и другой водной растительности, остатков сельскохозяйственной продукции и посторонних предметов, самодельных и бобровых плотин, крепление откосов на неустойчивых участках каналов и др.

Восстановление эксплуатационных дорог осуществляется для обеспечения доступа техники к каналу, улучшения условий доставки строительных материалов, мешков с песком, вывоза ила и т. п.

Реконструкция и модернизация дренажных систем. Реконструкция мелиоративной системы – это комплекс мероприятий, направленных на повышение технического уровня действующих систем с целью увеличения эффективности использования природных ресурсов путем изменения конструкций и основных параметров системы и ее элементов. Реконструкция действующих систем содержит комплекс переоборудования с учетом достижений научно-технического прогресса.

Модернизация внутрихозяйственной сети осушительно-увлажняющих систем включает технологические схемы водорегулирования на дренажно-коллекторной сети и технические средства, обеспечивающие практическую реализацию способа подпочвенного увлажнения.

Реконструкция дренажных систем включает развитие сети главных и боковых коллекторов для обеспечения самотечного отвода поверхностных и дренажных вод, устройство самотечной коллекторной сети и замену. Объемы восстановления дренажа определяются по результатам раскопок дренажных коллекторов и дрен.

Для соединения труб могут использоваться переходники, тройники и муфты различных диаметров, обертки на клею, цементирование и тому подобное. При замене старых труб целесообразно применять трубы диаметром 150–200 мм, которые одновременно будут служить дренажным устьем.

Результаты полевых исследований и натурных обследований, проведенных на участке хозяйства, позволили разработать комплекс мер по защите ее от подтопления и затопления при использовании для плодовых насаждений, который включает:

- 1) восстановление осушительной системы;
- 2) строительство нового дренажа;
- 3) глубокое рыхление тяжелых почв;
- 4) организацию мониторинга режима грунтовых вод.

Согласно существующим нормам на минеральных почвах лесостепной зоны, в пределах которой находится участок хозяйства, существующие осушительные системы должны обеспечивать глубину залегания уровня грунтовых вод (норму осушения) в предпосевной период для пропашных, злаковых, капустных культур и многолетних трав в пределах 0,5–0,7 м, в период интенсивного роста – 0,8–1,2 м [8, 16]. Восстановление осушительной системы необходимо проводить с учетом мирового опыта [20, 21]. При уменьшении внимания к мелиоративным системам в условиях недопоступления средств на их эксплуатацию, что наблюдается в последние десятилетия, возникает угроза ухудшения технического состояния систем, возобновление переувлажнения и вторичного заболачивания территорий на осушаемых площадях.

На работоспособность существующей осушительной системы влияет ее длительный срок эксплуатации, который по состоянию на 2015 г. составляет 25 лет. Исходя из этого в весенний период существующая система не сможет обеспечить требования по поддержке уровня грунтовых вод на глубине 1,0 м.

Значительная уязвимость территорий района расположения участка по развитию процессов затопления и подтопления во влажные периоды вызывает необходимость постоянного обеспечения осушительных систем в рабочем состоянии и осуществления регламентированных эксплуатационных мероприятий в полном объеме.

Восстановление осушительной системы на участке хозяйства включает:

- 1) расчистку дренажного канала 1-Др от заиления и зарастания;
- 2) крепление склонов канала;
- 3) расчистку дренажных устьев и коллекторов от заиления;
- 4) устройство средств мониторинга УГВ и влажности почвы.

Расчистка дренажного канала. Одним из важнейших мероприятий для обеспечения нормальной работы дренажной системы и своевременного и беспрепятственного отвода поверхностных и

дренажных вод является содержание коллекторно-дренажной сети на должном уровне. В связи с этим на участке хозяйства необходимо провести расчистку дренажного канала 1-Др на пикетах ПК 25-ПК 42 с обеспечением проектных отметок.

Для уменьшения объемов выемки грунта с канала расчистки целесообразно проводить с перепадами, ступенчато (рис. 29.11) [12].

В процессе эксплуатации канала необходимо обеспечить беспрепятственное водоотведение и постоянное дренирующее действие, что будет гарантировать поддержку УГВ на нормативной глубине. При создании подпоров воды канал потеряет возможность выполнения своих функций, уменьшит эффективность работы дренажных коллекторов, впадающих в него.

Для ликвидации подпоров на дренажном канале необходимо ликвидировать плотину, которая создана на пикете ПК 32 + 50 для накопления воды в канале и использования ее для орошения. В качестве источника орошения рекомендуется устроить водоем, который находится за пределами русла канала на бессточном снижении в районе поворота канала на пикете ПК 32 и не связанный с каналом. Минимальная глубина водоема – 2,5 м.

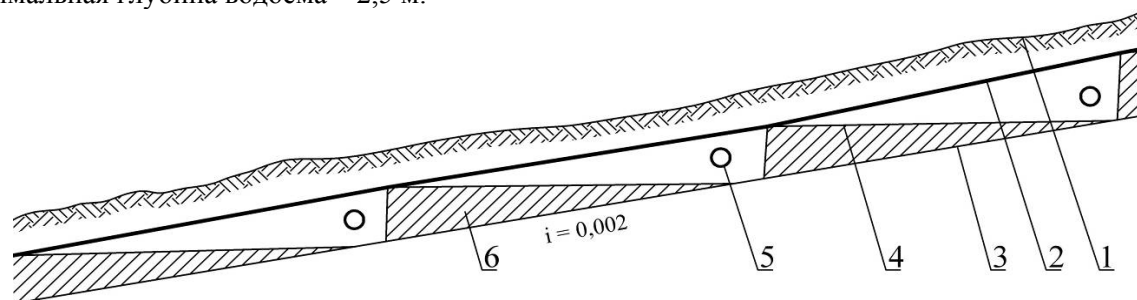


Рис. 29.11. Схема очистки дренажного канала от заиления:

1 – поверхность земли; 2 – дно илистого канала; 3 – проектное дно канала; 4 – дно канала с перепадами; 5 – дренажное устье; 6 – наносы грунта, которые не изымаются

Крепления склонов канала. Для стабилизации процессов заиления дренажного канала 1-ГД целесообразно провести крепления его берегов на участке между трубчатыми переездами на пикетах ПК 36 - ПК 41. Наиболее приемлемой конструкцией крепления являются габионы (рис. 29.12). Оптимальный период строительства – август-сентябрь, во время которого грунтовые воды залегают глубоко и ложе канала пересыхает. Общая длина крепления 250–300 м. Объем камня – 300–360 м³.

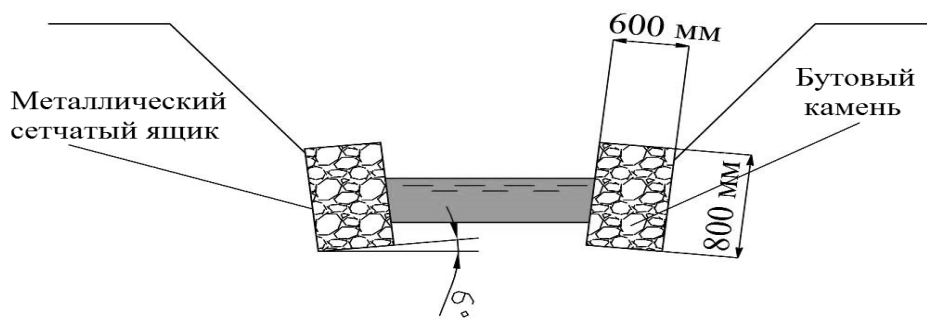


Рис. 29.12. Крепления берегов дренажного канала габионами

Крепление подошвы склона дренажного канала обеспечит существенное улучшение эффективности осушения, стабилизацию заиления, поддержку дна канала на проектных отметках, повышение надежности и условий эксплуатации дренажных устьев.

Расчистка дренажных устьев и коллекторов от заиления. Для обеспечения работы существующего дренажа в проектном режиме проведена расчистка дренажных устьев и коллекторов от заиления и замена заиленных участков на канализационные трубы (рис. 29.13). По данным обследований и раскопок, заилению подверглись все дренажные устья. Заиление наблюдалось только в пределах приканальной зоны. Длина заиления по коллектору составляла от 2 до 12 м.

Восстановление дренажных устьев целесообразно провести с использованием конструкции, которая предусматривает его защиту с помощью сетчатого перекрытия и защитно-фильтрующих материалов (рис. 29.14) [11]. По данным раскопок, на коллекторах заиление наблюдается в устьевой части, на выше расположенных участках состояние заиления необходимо установить по результатам дальнейших раскопок. При наличии заиления коллектор необходимо перестроить, при отсутствии – оставить для дальнейшей эксплуатации. На участке не нужно проводить расчистку полости дрен от заиления, поскольку оно оказалось незначительным.



Рис. 29.13. Восстановленные дренажные устья

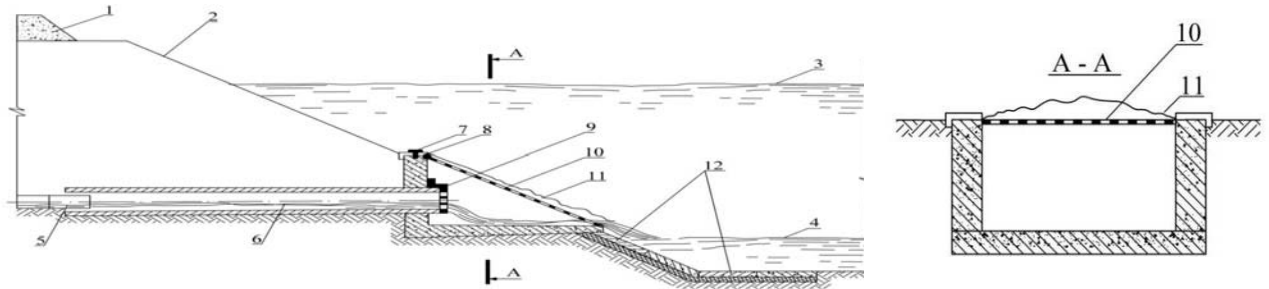


Рис. 29.14. Дренажное устье:

1 – валик; 2 – сплошной дерн; 3 – уровень воды во время паводка; 4 – нормальный уровень воды; 5 – коллектор; 6 – асбестоцементная труба; 7 – анкер; 8 – шарнир; 9, 10 – защитная сетка;

11 – защитно-фильтрующий материал; 12 – крепление плитами

Устройство средств мониторинга УГВ и влажности почвы. Для контроля режима УГВ и влажности почвы на участке хозяйства устроены тензиометры и наблюдательные скважины (рис. 29.15).



а



б



в



г

Рис. 29.15. Средства мониторинга уровня грунтовых вод и влажности почвы:
а – наблюдательная скважина, б, в, г – тензиометры

Детальные наблюдения за уровнем грунтовых вод необходимо проводить во влажные периоды, когда грунтовые воды поднимаются близко к поверхности земли. Это даст возможность при необходимости оперативно принять дополнительные меры, направленные на защиту от подтопления корневой системы сада.

Устройство средств мониторинга УГВ и влажности почвы в виде тензиометров и наблюдательных скважин позволит реализовать эффективный контроль за водным режимом почв с учетом переменного характера текущих погодно-климатических условий, обеспечит своевременную реализацию водорегулирующих мер по снижению УГВ при выпадении интенсивных осадков или назначении поливов в засушливые периоды вегетации.

В перспективе для повышения эффективности функционирования службы мониторинга в условиях хозяйства могут быть применены соответствующие локальные системы и средства автоматизации измерения и контроля уровня грунтовых вод и влажности почвы на всей площади размещения сада.

29.5. Применение капельного орошения на возобновленных осушительных системах

29.5.1. Исходные предпосылки. Исследования показывают, что климат Украины в течение последних десятилетий начал меняться (температура и некоторые другие метеорологические параметры отличаются от значений климатической нормы) и согласно результатам моделирования – для ее территории в будущем рост температуры воздуха продолжится (хотя величина изменений несколько отличается по разным прогнозным моделям) и будет происходить изменение количества осадков в течение года.

Данные изменения уже приводит к смещению климатических сезонов, сокращению продолжительности вегетационного периода, уменьшения продолжительности залегания устойчивого снежного покрова, изменению водных ресурсов местного стока и т. п.

Данные изменения обуславливают значительный рост дефицита влагообеспеченности и расширение территорий с засушливым климатом, особенно в период вегетации выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Изменения основных метеорологических факторов значительно влияют на влагообеспеченность прежде всего Полесского региона. Как показывают проведенные исследования и текущие наблюдения в зоне Полесья, показатель влагообеспеченности только за период 2008–2015 гг. здесь изменился относительно периода 1991–1998 гг. соответственно с 0,83 до 0,56 при средней многолетней норме его значения 0,86, достигнув в 2015 г. значения 0,30.

Такие существенные изменения погодно-климатических условий беспрекословно определяют необходимость выработки ряда адаптивных мер, которые должны быть учтены при создании и функционировании водохозяйственно-мелиоративных объектов. В первую очередь, это касается необходимости применения регулярного увлажнения на осушаемых землях Полесья.

Сегодня главные усилия в области мелиорации направлены на реконструкцию и модернизацию гидромелиоративных систем, повышение эффективности орошения, сбережение водных ресурсов, охрану окружающей среды. Что касается применения орошения, то наблюдается довольно ярко выраженная тенденция перехода на ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии путем внедрения в практику новых способов и технических средств полива, обеспечивающих дозированную, с малыми потерями, подачу воды с растворенными в ней питательными веществами, микроэлементами, химмелиорантами, средствами защиты и регуляторами роста дискретно каждому растению.

Одним из мероприятий решения поставленных задач является капельное орошение. Именно оно является определяющей составляющей современных высокоинтенсивных технологий выращивания садов, ягодников, виноградников, питомников, овощей, картофеля, поскольку благодаря технологическим возможностям этого способа (дискретная подача воды и растворенных в ней удобрений и микроэлементов в зону питания и каждое растение в строгом соответствии с его потребностями) создаются условия для максимального использования потенциала продуктивности растений.

Высокая эффективность капельного орошения способствовала тому, что за сравнительно небольшой период значительно расширился и видовой состав культур, которые выращиваются с использованием этой технологии.

По сравнению с традиционными способами полива (дождевание или полив по бороздам) капельное орошение имеет такие главные преимущества:

– экономия воды в 2–5 раз в зависимости от вида культуры, сорта, схемы посадки, возраста растений, почвенно-климатических особенностей;

- дозированная, с небольшим расходом и под малым давлением, подача воды с растворенными в ней элементами питания;
- обеспечение оптимальных затрат воды и удобрений в соответствии с биологическими потребностями плодовых и ягодных культур на основе создания благоприятного водного и питательного режимов почвы;
- уменьшение расходов минеральных удобрений за счет поступления их непосредственно к корневой системе растений;
- высокий уровень механизации и автоматизации технологических процессов (поливов, внесения удобрений, химмелиорантов, средств защиты);
- исключение влияния ветра на процесс орошения;
- снижение требований к системам дренажа;
- возможность использования минерализованных вод, непригодных для полива другими способами;
- сведение к минимуму или же полное исключение вредного воздействия на окружающую среду;
- повышение урожайности плодовых и ягодных культур на 30–50 % и улучшение качества продукции;
- возможность освоения склоновых земель до 30 °, а также малопродуктивных (маломощных, песчаных, супесчаных, рекультивированных) земель;
- уменьшение трудозатрат на строительство, эксплуатацию и техническое обслуживание систем капельного орошения (СКО) благодаря высокой заводской готовности узлов и полной автоматизации управления поливом.

Указанные преимущества способствовали быстрому распространению капельного орошения в центральном, западном и северном регионах Украины, в частности в Винницкой, Закарпатской, Черкасской, Киевской, Полтавской, Кировоградской, Днепропетровской, Львовской и Волынской областях.

29.5.2. Возобновление осушительной системы с применением капельного орошения. На территории хозяйства с. Небелица Макаровского района Киевской области работы по строительству систем капельного орошения проводились одновременно с восстановлением мелиоративных систем. Капельное орошение на восстановленных осушительных системах существенно не отличается от систем обычного капельного орошения. В то же время их строительство имеет ряд особенностей, которые касаются выбора участка для расположения насаждений, выращиваемых по интенсивным технологиям.

Выбор участка для насаждений проводился с использованием результатов топосъемки территории и гидрогеологических изысканий. Топографическая съемка территории хозяйства была выполнена в масштабе 1 : 500. Гидрогеологические изыскания включали бурение наблюдательных скважин из расчета 1 скважина на 1 га. По данным, полученным в результате проведения топографической съемки и гидрогеологических изысканий была построена карта глубин залегания уровня грунтовых вод.

Для закладки сада выбраны участки с дренажем и глубинами залегания грунтовых вод 1,5–2 м и более. Участки, расположенные в низинах с близким залеганием уровня грунтовых вод и оснащенные дренажем, были изъяты из насаждений и рекомендовались для экспериментальной закладки сада на небольших площадях. Участки, на которых дренаж находился в неудовлетворительном техническом состоянии, рекомендовались для восстановления.

Строительство системы капельного орошения при закладке промышленных садов и ягодников в хозяйстве включало устройство водоема на осушительном канале, строительство водозаборных скважин, создание наливных и копаных искусственных водоемов, установку насосной станции, прокладку оросительных трубопроводов, участковых и поливных трубопроводов, датчиков влажности (рис. 29.16–29.19).

Развитие промышленных садов и ягодников в зоне Полесья на основе систем капельного орошения существенно повысит эффективность аграрного производства, обеспечит получение высоких урожаев черешни, голубики, малины и других высоколиквидных культур и будет способствовать развитию сельских территорий региона.



а



б



в



г



д



е

Рис. 29.16. Искусственные водоемы на системах капельного орошения:

а, б, в, г – наливные водоемы с противофильтрационными облицовками из геосинтетических материалов (мембраны), д, е – копаные водоемы



Рис. 29.17. Черешневий сад на капельному зрошенні



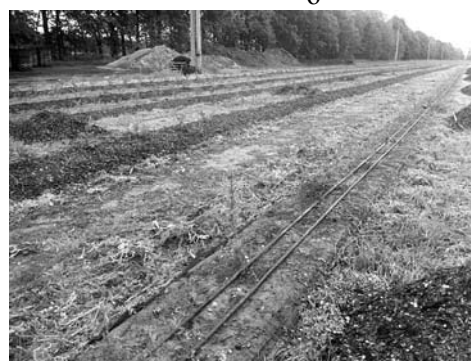
а



б



в



г

Рис. 29.18. Фрагменты систем капельного орошения:

а – водоотводный узел на участковых трубопроводах, б – капельницы с компенсаторами на участковых трубопроводах, в – регуляторы давления воды, г – участковые трубопроводы



а



б



в



г

Рис. 29.19. Первый урожай черешни и голубики на капельном орошении (2016)

Литература

1. Атлас перспективных сортов плодовых и ягодных культур Украины / под ред. В. П. Копаня. – Киев: ООО «Одеск», 1999. – 472 с.
2. Думбляускас А. М. Осушение земель под сады. – М.: Колос, 1976. – 120 с.
3. Закржевский П. И. Постоянно затопленный дренаж. – Минск: Ураджай, 1982. – 128 с.
4. Малюга В. В. Захист сільських територій від підтоплення в лісостеповій зоні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації». – Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2014. – 21 с.
5. Мелиорация и использование осушенных земель / В. Е. Алексеевский, Н. И. Васюк [и др.] ; под ред. В. Е. Алексеевского. – Киев: Урожай, 1988. – 184 с.
6. Механизация работ по ремонту и содержанию осушительных систем / Л. А. Камышенцев, Б. П. Новиков [и др.]. – М.: Колос, 1982. – 192 с.
7. Механизация эксплуатационных работ на гидромелиоративных системах : справочник / В. Г. Песков, В. С. Зинь, Л. В. Мобило [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 143 с.
8. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західному регіоні України / за ред. М. В. Зубця (голова) [та ін.]. – Київ: Аграрна наука, 2010. – 944 с.
9. Національний атлас України / за ред. Л. Г. Руденка. – Київ: ДНВП Картографія, 2007. – 440 с.
10. Неблагоприятные природные процессы и явления. Карта Украинской ССР, масштаб 1:750000 / науч. рук. и отв. ред. А. П. Золовский. – Киев: Отд-е географии Ин-та геофизики им. С. И. Субботина АН УССР, 1986 (ДСП).
11. Патент України на корисну модель № 104826 Дренажне гирло / М. І. Ромащенко, Д. П. Савчук, А. М. Шевченко [та ін.]. – Бюл. № 4 від 25.02.2016.
12. Патент України на корисну модель № 105105 Спосіб регулювання водоприймача / Д. П. Савчук, О. А. Бабіцька, В. В. Малюга [та ін.]. – Бюл. № 5 від 10.03.2016.
13. Природа Київської області / Ю. Л. Грубрін, Л. Д. Розов, Ю. Є. Добрянский [та ін.] ; відп. ред. О. М. Маринич. – Київ: Вид-во Київ. ун-ту, 1972. – 235 с.
14. Равовой П. У. Организация эксплуатационных работ на мелиоративных системах. – М.: Агропромиздат, 1985. – 110 с.
15. Рекомендації з технології вирощування на клонових підщепах за краплинного зрошення в умовах Лісостепу України / М. І. Ромащенко, С. В. Рябков, А. П. Шатковський [та ін.] ; за ред. М. І. Ромащенко, С. В. Рябкова. – Київ: ІВПіМ НААН, 2012. – 72 с.
16. Руководство по проектированию осушительных систем в Украинской ССР. НТД 33–63–074–87 / общ. ред. В. Д. Дупляк, М. К. Дадиани, И. П. Глыбчак [и др.]. – Київ: Укргіпководхоз, 1987. – 529 с.
17. Сапсай Г. І., Бадинський Л. О., Величко С. В. Гідрологічна дія закритого дренажу при зміні його технічного стану : монографія. – Івано-Франківськ: НАІР, 2013. – 128 с.
18. Справочник садовода / П. Ф. Дуброва, В. И. Егоров, Н. А. Камшилов (сост.) [и др.]. – 2-е изд. – М.: Гос. изд-во сельскохоз. лит-ры, 1955. – 606 с.
19. Черненко В. Я., Брусиловский Ш. И. Глубокое рыхление осушаемых тяжелых почв. – М.: Колос, 1983. – 63 с.
20. Эггельсманн Р. Руководство по дренажу / пер. с нем. В. Н. Горинского ; под ред. и с предисл. Ф. Р. Зайделямана. – М.: Колос, 1978. – 255 с.
21. Maaparandusrajatiste Tüüpjoonised. – Tallin, 2008. – 120 с. – URL : <http://www.google.com.ua>.

Глава 30. СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ

30.1. Общие сведения и роль механизации

Механизация работ – это процесс замены тяжелого физического труда человека на машинный, что дает многократное повышение производительности труда.

Основу механизации составляют механизмы, машины и оборудование. Механизмы – это простые по строению приспособления, которые служат для изменения движения как по направлению, так и по величине, например домкраты, лебедки и т. п. Машиной называют механическое построение, которое потребляет определенный вид энергии (ветровую, гидравлическую, тепловую) и благодаря этому выполняет механическую работу. Оборудование машин представляет собой различные орудия, непосредственно выполняющие работу, например прицепы, сменные рабочие органы и т. п.

Бурное развитие средств механизации мелиоративных работ началось в 60-е годы XX века, когда для проектирования и выпуска средств механизации были выделены необходимые средства и созданы 5 заводов для выпуска мелиоративной техники, 5 специальных конструкторских бюро (СКБ) и главный проектный институт (ВНДИЗемМаш). Это позволило за короткое время начать выпускать в необходимом количестве мелиоративные машины для основных видов работ. Благодаря механизации в короткие сроки были выполнены огромные объемы строительного-мелиоративных работ на Полесье. Например, за период с 1960 по 1985 год только на украинском Полесье было сдано в эксплуатацию 2 млн га дренажных систем. В более поздние годы в отрасль мелиорации Полесья было направлено более 200 видов разнообразной строительной и мелиоративной техники.

30.2. Назначение и классификация средств механизации

В зависимости от области применения все машины, задействованные при проведении мелиоративных работ в Полесской зоне, делятся на 2 класса. Первый класс – это общестроительные машины, применяемые в различных отраслях строительства, в том числе мелиорации. Второй класс – это специальные мелиоративные машины, предназначенные для выполнения одной или нескольких операций в мелиоративном строительстве. В зависимости от назначения эти машины делятся на группы:

- 1) для прокладки (копания) открытых осушительных каналов (каналокопатели);
- 2) для ухода и ремонта открытых каналов;
- 3) для ухода и ремонта дренажных систем;
- 4) для проведения культуртехнических работ;
- 5) машины и механизмы для орошения лугов и пастбищ.

Машины некоторых групп разделяют на подгруппы по признаку общности процессов, осуществляемых при выполнении работ, основному назначению или преимущественному применению.

По характеру рабочего режима все машины можно разделить на машины непрерывного или циклического действия, а машины, которые вносят на поверхность или в массу почвы различные материалы (бетон, воду, битум, трубы), – на машины позиционного действия или такие, которые работают в движении; по способу затраты энергии основным рабочим органом – на машины с активным, пассивным или активно-пассивным рабочим органом (тип рабочего органа определяет характер процесса, который осуществляется).

При выборе той или иной мелиоративной машины надо учитывать расположение рабочего органа, а также особенности его движения или работы, поскольку однотипные рабочие органы очень часто по отношению к базовой машине могут осуществлять совершенно разные операции в мелиорации. Применяют машины с различными видами ходового оборудования: плавучие и на лыжах, гусеничные и колесные. По способу агрегатирования с базовой машиной их делят на самоходные, навесные, прицепные и полуприцепные.

Машины для водного хозяйства должны иметь высокую производительность, минимальную металлоемкость, энергоемкость и тяговое сопротивление, высокое качество работ, соответствующее агро-мелиоративным требованиям без доделочных работ и применения ручного труда.

30.3. Машины для прокладки каналов (каналокопатели)

30.3.1. Основные требования. Классификация каналокопателей. Каналокопатели предназначены для прокладки каналов мелиоративных систем в грунтах I, II и III категорий. К каналокопателям предъявляют следующие основные требования: прокладка каналов проектных размеров за один проход, удовлетворительное планирование дна и откосов, формирование дамб, укладка грунта в кавальер

или разбрасывание его равномерно на одну или обе стороны канала, обеспечение проектного уклона дна и надежная проходимость по переувлажненным почвам. Их разделяют по назначению – для строительства и ремонта осушительных и оросительных каналов; типу рабочих органов – с пассивными (плужными), активными (ротационными) и комбинированными (плужно-ротаторными и шнекороторными); по способу агрегатирования – прицепные и навесные.

30.3.2. Каналокопатели с плужными рабочими органами. Каналокопатели с плужными рабочими органами применяют для копания временных мелиоративных каналов в зонах осушения и орошения. По способу агрегатирования их распределяют на прицепные и навесные. Технические характеристики прицепных каналокопателей приведены в таблице 30.1.

Таблица 30.1

Технические характеристики прицепных плужных каналокопателей

Показатель	КМ-1400М	ЛКА-2М	МК-13	
Назначение	Осушительные каналы	Осушительные каналы	Осушительные каналы	Оросительные каналы
Трактор-тягач	Т-100МБГС; Т-130Б	Т-100МБ; Т-130Б	Т-100МБ; Т-130Б	Т-100МБ; Т-130Б
Количество тракторов	2...3	2	1...3	1...3
Размеры каналов, м:				
глубина	0,8...1,0	0,4...0,8	0,8...1,0	0,5
ширина по дну	0,2	0,3	0,2	0,4; 0,6; 0,8; 1,0
Заложения откосов	1:1	1:1	1:1; 1:1,5	1:1; 1:1,5
Управление	канатное	(лебедка Д-269)		гидравлическое
Габаритные размеры в транспортном положении без трактора, мм:				
длина	6140	6200	5750	6150
ширина	3160	3000	3170	3100
высота	3290	2700	3530	3150
Масса без трактора, кг	4490	3250	5200	4500
Производительность, км/ч	1,6...1,8	1,4...1,8	1,4...2,5	1,4...2,5

Каналокопатель КМ-1400М (рис. 30.1) предназначен для прокладки и ремонта осушительных каналов. Он состоит из двухполочного плужного рабочего органа, неповоротной ходовой и тяговой рам, двух передних колес, заднего колеса, черенкового ножа, блоков полиспаста, канатов тягового и выглубления, флюгерной колонки и лебедки.

Плужный рабочий орган состоит из лемеха и двух полок, образующих симметричную двустороннюю рабочую поверхность. Во время движения каналокопателя почва отрезается лемехом, поднимается по полкам и распадается равномерно по обе стороны от рабочего органа. В верхней части полок почва раздвигается бермоочистителями, образуя кавальеры. Рабочий орган приварен к задней части тяговой рамы. В средней части к раме крепится черенковый нож, который разрезает почву на глубину 20...30 см, уменьшая нагрузку на рабочий орган.

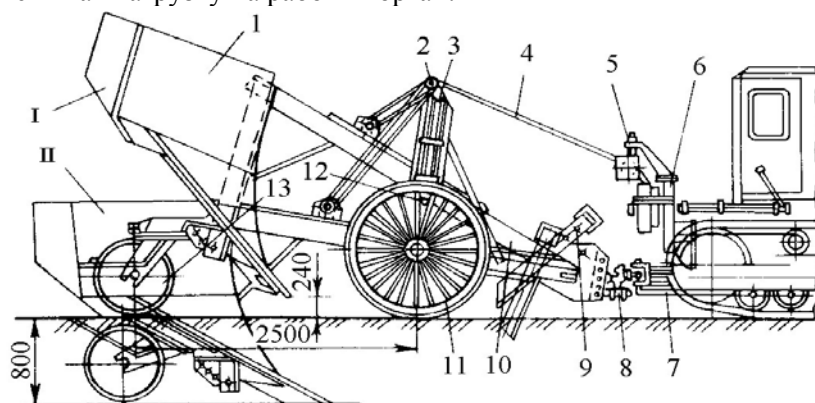


Рис. 30.1. Каналокопатель КМ-1400М:

1 – плужный рабочий орган; 2 – блок полиспаста; 3 – ходовая рама; 4 – канат выглубления; 5 – флюгерная колонка; 6 – лебедка; 7 – тяговый канат; 8 – серьга; 9 – черенковый нож; 10 – тяговая рама; 11 – передние колеса; 12 – штырь; 13 – заднее колесо; I и II – соответственно транспортное и рабочее положение каналокопателя

В передней части тяговая рама шарнирно соединена с ходовой, что позволяет переводить рабочий орган из транспортного положения в рабочее, и наоборот, и изменять угол резания грунта. Перестановка переднего конца тяговой рамы в одно из трех отверстий, просверленных на прицепном устройстве рамы, переводит рабочий орган из одного положения в другое с помощью подъемного каната, лебедки и полиспаста. В транспортном положении тяговая рама опирается на штыри, вставленные в одно из трех отверстий на стойках ходовой рамы. Заднее колесо при этом опирается на грунт.

Заглубление рабочего органа можно изменять перестановкой прицепной серьги на прицепной коробке каналокопателя.

Каналокопатель перемещает в рабочем положении один или несколько тракторов. Сцепку осуществляют с помощью тягового каната, один конец которого крепится на нижнем штыре прицепного устройства каналокопателя, второй – к передней части трактора. Чтобы канат не попал под гусеницы, его пропускают через петлю переднего крюка последнего трактора.

Перед тем, как прокладывать канал, необходимо спланировать с необходимым уклоном поверхность поля. Для этого срезают кустарник и собирают его, а поверхность выравнивают бульдозером.

Трактор с каналокопателем в транспортном положении устанавливают по оси будущего канала, заправляют канат лебедки трактора в блоки полиспаста и закрепляют его конец. Лебедкой возвращают тяговую раму и вынимают штыри из стояков ходовой рамы и заднего колеса. Опускают рабочий орган на грунт, ставят передний трактор на расстоянии 5...10 м от заднего и закрепляют конец тягового каната в прицепном устройстве.

После выполнения этих операций тракторист может начинать работу. Заглубление в грунт происходит под действием веса рабочего органа и тяговой рамы, пока она не обопрется на штыри. Во время работы трактора должны двигаться в заданном направлении без рывков. Выглубляют рабочий орган и переводят в транспортное положение лебедкой. При этом каналокопатель подают немного назад, освобождая плужный рабочий орган от грунта для уменьшения сопротивления подъему.

Перед транспортировкой необходимо зафиксировать положение тяговой рамы относительно ходовой штырями и установить заднее колесо в транспортное положение.

30.3.3. Каналокопатели с ротационными рабочими органами. Каналокопатели с ротационными рабочими органами используют для прокладки каналов в зонах осушения и орошения глубиной до 1,5 м. Ротационные рабочие органы могут работать в двух режимах: в режиме фрез с инерционной разгрузкой почвы (окружная скорость на ножах больше 8 м/с) при работе на легких торфяных почвах в зоне осушения и в режиме роторов гравитационным разгрузкой грунта (окружная скорость на ножах меньше 6 м/с) при работе на тяжелых почвах в зоне орошения. Технические характеристики каналокопателей с ротационными рабочими органами приведены в таблице 30.2.

Каналокопатель ЭТР-125А (рис. 30.2) прокладывает каналы в зоне осушения.

Таблица 30.2

Технические характеристики каналокопателей с ротационными рабочими органами

Показатель	ЭТР-125А	ЭТР-153	ЭТР-126
Базовый трактор	Т-130 МБГ	Т-130МБГ-3	Собственная база
Размеры каналов, м:			
глубина	1,4	1,8	0,8; 1,2
ширина по дну	0,25	0,25	0,4; 0,6; 0,8
Заложения откосов	1:1	-	1:1,5 (при глубине 0,8); 1:1 (при глубине 1,2)
Ротор:			
диаметр, м	2,8	2,5	3,5
скорость резания, м / с	9,3	9,3	4; 6
ширина рабочей части, м	0,16	0,16	0,26
Скорость перемещения:			
рабочая, м / ч	56...436	29...380	30...580
транспортная, км / ч	2,8...8,6	2,8...8,6	1,4...4,2
Среднее давление на грунт, МПа	0,035	0,035	0,025
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:			
длина	10500	10500	13300
ширина	4030	4030	6500
Масса машины, кг	23800	23800	25000
Наибольшая техническая производительность, м ³ /ч	300	320	275

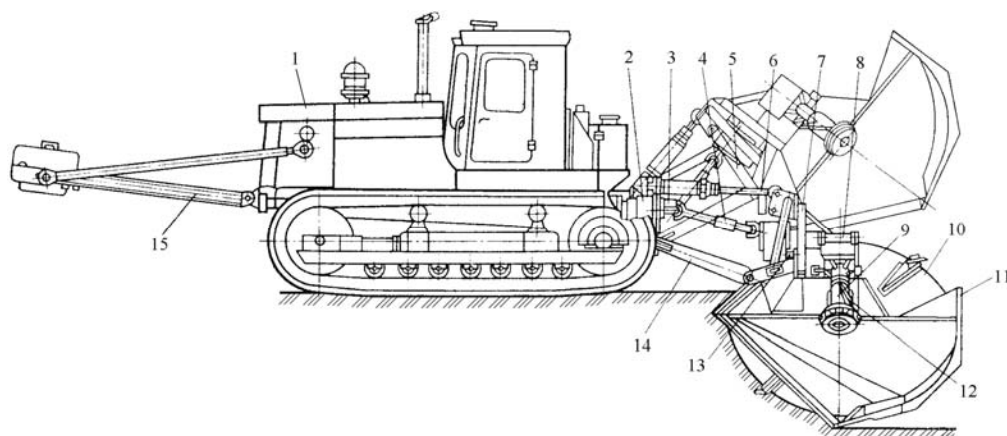


Рис. 30.2. Каналокопатель ЭТР-125А:

- 1 – трактор Т-130 БГ-3; 2 – ходоуменьшитель; 3 – ограждение карданного вала; 4 – карданный вал; 5 – фиксирующая щека; 6 – гидроцилиндр поворота рабочего оборудования; 7 – рама; 8 – конический редуктор; 9 – планетарный редуктор; 10 – фреза; 11 – зачистной отвал; 12 – разрыхлитель; 13 – карданная муфта; 14 – нижняя тяга навесной системы трактора; 15 – противовес

Каналокопатель состоит из противовеса 15 трактора Т-130БГ-3 и рабочего оборудования. Для улучшения проходимости гусеницам трактора можно прикреплять расширительные башмаки.

Рабочий орган каналокопателя состоит из двух наклонных фрез, плоскости вращения которых параллельны откосам канала. Ножи фрез разрабатывают лишь часть поперечного сечения канала. Нижняя часть целика грунта, который остается после прохождения фрез, подрезается зачистным ножом отвала, а верхняя часть после разделения ее на две равные части отвалом под действием собственного веса и разрыхлителей обваливается на отвал. Лопатки фрез выбрасывают весь грунт по обе стороны канала. Рабочее оборудование смонтировано на раме, которая крепится к навесной системе трактора по трехточечной схеме. При перемещении на значительные расстояния рабочее оборудование фиксируют специальными щеками безопасности движения и разгрузки гидроцилиндра навески.

При транспортном перемещении крутящий момент от двигателя передается на гусеницы через коробку переключения передач, главную передачу, механизм поворота и бортовые редукторы. Для осуществления рабочего хода каналокопатель оборудован гидромеханическим ходоуменьшителем. Рабочее движение передается через ведущий вал коробки переключения передач на ходоуменьшитель и на промежуточный вал коробки переключения передач. Дальнейшая кинематическая связь остается такой же, как и при транспортном ходе. Бесступенчатое регулирование скорости рабочего хода обеспечивают гидромеханический ходоуменьшитель дифференциального типа и насос. Крутящий момент на фрезы передается от вала отбора мощности двигателя через коробку переключения передач, ведущий вал гидромеханического ходоуменьшителя, распределительную коробку, конические и планетарные редукторы.

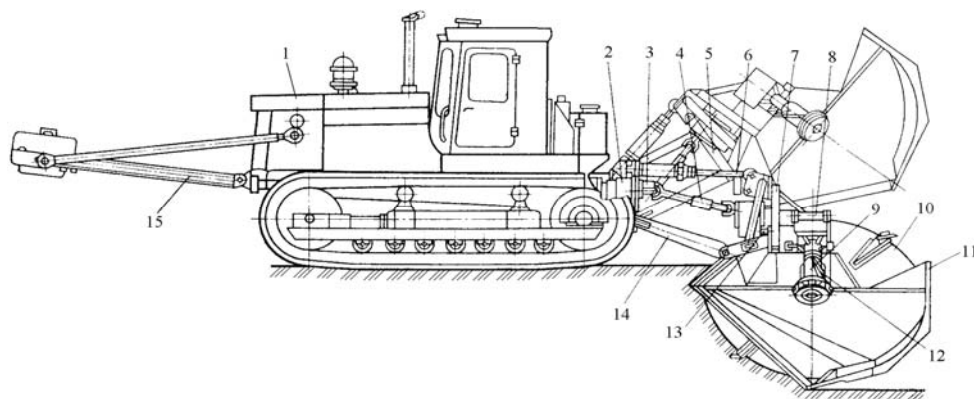


Рис. 30.3. Каналокопатель ЭТР-125А:

- 1 – трактор Т-130 БГ-3; 2 – ходоуменьшитель; 3 – ограждение карданного вала; 4 – карданный вал; 5 – фиксирующая щека; 6 – гидроцилиндр поворота рабочего оборудования; 7 – рама; 8 – конический редуктор; 9 – планетарный редуктор; 10 – фреза; 11 – зачистной отвал; 12 – разрыхлитель; 13 – карданная муфта; 14 – нижняя тяга навесной системы трактора; 15 – противовес

Каналокопатель ЭТР-153 предназначен для прокладки каналов параболической формы в зоне осушения. Его конструкция отличается от конструкции каналокопателя ЭТР-125А тем, что его фрезы наклонены под углом 52° к горизонту и развернуты в плане на 14° к оси канала для получения параболического профиля поперечного сечения канала.

30.4. Машины для содержания и ремонта каналов и водоемов

30.4.1. Основные требования. Классификация. Значительное место в мелиорации занимают работы, связанные с ремонтом, содержанием и эксплуатацией осушительных систем: очистка дна каналов от наносов и растительности, окашивание откосов каналов, восстановление проектного профиля каналов и их углубление, а также очистка дна водоемов от заиления.

В настоящее время при эксплуатации каналов применяют как активные рабочие органы непрерывного действия (роторные, шнековые, фрезерные), так и пассивные рабочие органы циклического действия (одноковшовые экскаваторы, ремонтные лопаты, специальные одноковшовые каналоочистители). Машины различаются также по объекту работ: для очистки только дна каналов, для профилирования и очистки дна и откосов, для окашивания откосов каналов, для очистки водоемов от заиления (добыча сапропеля). По месту перемещения различают каналоочистители: береговые – движутся по берме или дамбе; внутриканальные – движутся в пределах площади поперечного сечения канала; седовые – движутся по обеим бермам или дамбах над каналом.

Основные требования к машинам для ремонта и содержания каналов и водоемов: 1) более высокая производительность по сравнению с машинами общего назначения при очистке каналов и водохранилищ; 2) качественная очистка каналов и водоемов с различной глубиной и закладкой откосов без дополнительных ручных работ или применения других машин; 3) достаточная проходимость по бермам или дну каналов и водохранилищ; 4) очистка дна и откосов каналов одновременно, а при необходимости только дна без нарушения откосов; 5) удаление наносов от бровки канала, часто с равномерным их разбрасыванием; 6) обеспечение устойчивости откосов каналов после их очистки; 7) надежность при работе в минеральных и торфяных почвах любой влажности; 8) срезание любой растительности в канале или водоеме и возле них; 9) выдерживание проектного профиля канала и его продольного наклона; 10) недопущение образования кавальеров; 11) возможность быстрого перемещения с одного канала на другой своим ходом.

30.4.2. Каналоочистители с пассивными рабочими органами. При очистке мелиоративных каналов и водоемов применяют одноковшовые экскаваторы с механическим и гидравлическим приводами и ковшом емкостью 0,25...1,0 м³: Э-652Б; ТЭ-3М; МТП-71 (ЭО-4221); ЭО-3322Б. Технические характеристики этих экскаваторов приведены в таблице 30.3.

Таблица 30.3

Технические характеристики одноковшовых экскаваторов

Показатель	ЭО-304А ЭО-304Б (ЭО-304В)	ЭО-625Б	ТЭ-3М	ЭО-4221 (МТП-71)
Вместимость ковша, м ³ :				
- прямой лопаты	-	0,66	0,5	-
- обратной	0,4	0,65	0,65	1,0
- драглайна	0,4	0,8	0,5	-
- бокового драглайна	0,4	0,8	-	-
- грейфера	0,36	0,65	-	2,8
Наибольшая грузоподъемность кранового оборудования, т	6,3	10	-	3
Ходовое оборудование, м:				
- длина гусеничного хода	3,56 (3,83)	3,42	4,8	6,1
- ширина гусеничного хода	3,22 (3,14)	2,83	3,9	3,9 і 3,35
- ширина гусеничной ленты	1,0 (0,84)	0,53	1,2 і 0,7	1,2 і 0,65
Тип управления	пневматическое и рычажное			гидравлическое
Двигатель:				
- тип	Д-48ЛС	Д-108-1	СМД-14Б	А-01М
- мощность, кВт /к.с./	37 (50)	80 (108)	55 (75)	95 (130)
Скорость передвижения, км/ч:				
- вперед	0,84...3,75	1,7	1,47	до 2,5
- назад	0,84...3,73	3,0	1,47	до 2,5
Тип компрессора	ВВ-0,25/10	ВУ-0,5/7	ВУ-0,5/7А	-
Давление в пневмосистеме, МПа	0,8	0,45	0,45	-
Масса экскаватора, кг	10700	20600	19850	22700
Среднее давление на грунт, МПа	0,02	0,072	0,019	0,018
Габаритные размеры, мм				
- длина без рабочего оборудования	4860	4990	5400	6100
- ширина	2420	2880	3900	3900
- высота	2960	3500	3200	3200

Одноковшовый полноповоротный экскаватор ЭО-3211 предназначен для выполнения земляных работ в грунтах I–III категорий. Экскаватор эксплуатируется при температуре окружающей среды от –40 до +40 °С.

Экскаватор (рис. 30.4) состоит из следующих основных узлов: гусеничного хода, поворотной платформы с установленными на ней двигателем, механизмами и кабиной, сменного рабочего оборудования. Гусеничный ход многоопорного типа с жестко установленными опорными роликами и увеличенной опорной поверхностью гусениц является ходовой частью экскаватора.

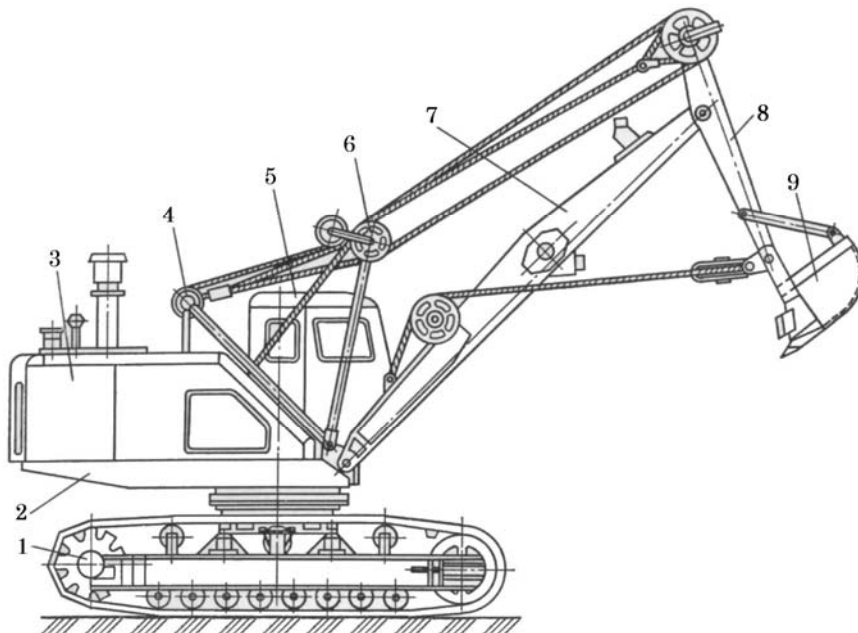


Рис. 30.4. Экскаватор ЭО-3211Е:

1 – гусеничный ход; 2 – поворотная платформа; 3 – капот; 4, 6 – задняя и передняя стойки; 5 – кабина; 7 – стрела; 8 – рукоятка; 9 – ковш

Продольные и поперечные балки гусеничного хода, сваренные из листа и швеллера, образуют нижнюю ходовую раму. Верхняя ходовая рама выполнена из стального литья. В раме размещен ходовой механизм.

Механизм управления гусеницами служит для торможения или включения гусениц. При отсутствии воздуха в тормозной камере кулачковые муфты под действием пружины находятся во включенном положении; движение экскаватора проходит прямо. При подаче воздуха тормозная камера, преодолевая сопротивление пружин, включает кулачковую муфту и сцепляет подвижную полумуфту с ограничителем поворота, торможением левой гусеницы, происходит поворот экскаватора слева, и наоборот. При копании обе гусеницы экскаватора должны быть заторможены.

Гусеничные ленты экскаватора ЭО-3211 являются взаимозаменяемыми с лентами экскаваторов Э-304Г, ЭО-3211Д и имеют повышенную износостойкость.

Силовая установка предназначена для привода главного редуктора и компрессора и состоит из двигателя Д-65ЛС, муфты сцепления, компрессора и узлов охлаждения.

Одноковшовый полноповоротный экскаватор Э-652Б на расширенно-удлиненном гусеничном ходу предназначен для выполнения работ на грунтах со слабой несущей способностью (рис. 30.5). На нем применены две системы управления: пневматическая и рычажная. В рабочее оборудование входит прямая и обратная лопаты, драглайн, боковой драглайн, грейфер, кран.

Полноповоротный болотоходный гусеничный экскаватор ТЭ-3М (рис. 30.6) предназначен для земляных работ на грунтах I–II категорий. Система управления рычажно-пневматическая, тормоза лебедок имеют пневмогидравлический привод. Экскаватор не унифицирован ни с одним из отечественных экскаваторов, кроме двигателя и компрессора.

Одноковшовый полноповоротный экскаватор ЭО-3322Б на пневмоколесном ходу предназначен для устройства и ремонта каналов. Он имеет поворотную платформу с опорно-поворотным устройством, раму на пневмоколесном ходу. Рабочее оборудование состоит из базовой части стрелы, головной части стрелы, рукоятки, ковша и гидроцилиндров: стрелы, рукоятки, ковша.

Одноковшовый универсальный экскаватор ЭО-4221 (рис. 30.7) (МТП-71) с гидравлическим приводом на расширенно-удлиненном гусеничном ходу предназначен для выполнения земляных работ в слабонесущих грунтах I–III категорий.

Экскаватор состоит из гусеничного движителя, поворотной платформы, рабочего оборудования, в состав которого входят стрела, промежуточная стрела, рукоятка, профильный ковш, гидроцилиндры. Конструкция стрелы позволяет установить на ней, кроме обратной, прямую лопату, грейфер и другое погрузочное оборудование. Привод всех механизмов экскаватора – гидравлический.

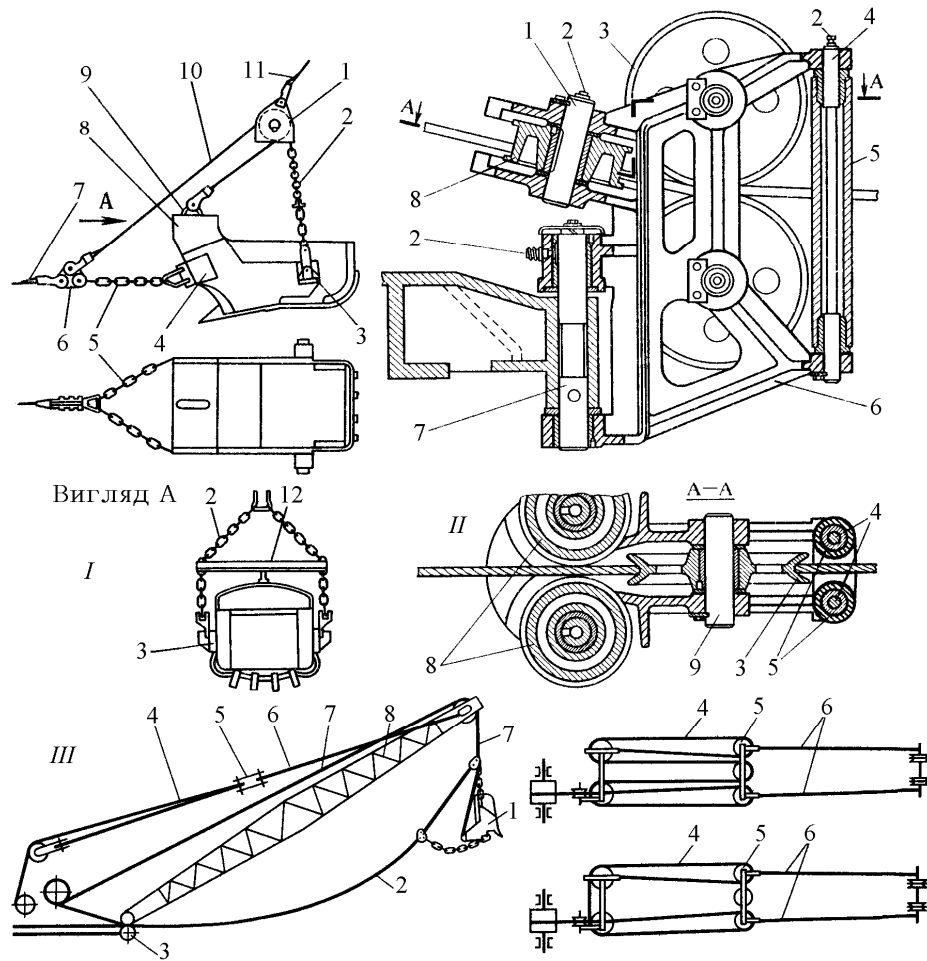


Рис. 30.5. Одноковшовый экскаватор Э-652Б:

I – ковш с подвеской: 1 – подвеска; 2, 5 – цепи; 3, 4 – кронштейн крепления цепей; 6 – тройник; 7 – тяговый канат; 8 – арка; 9 – кронштейн крепления канатов; 10 – разгрузочный канат; 11 – подъемный канат; II – наводка каната: 1 – оси горизонтальных блоков; 2 – масленка; 3 – вертикальные блоки; 4 – оси роликов; 5 – ролики; 6 – рама; 7 – ось рамы; 8 – горизонтальные блоки; 9 – оси вертикальных блоков; III – схема запасовки канатов: 1 – ковш; 2 – тяговый канат; 3 – наводка; 4 – стреловой канат; 5 – подвижная обойма полиспастов; 6 – тяги; 7 – подъемный канат; 8 – стрела

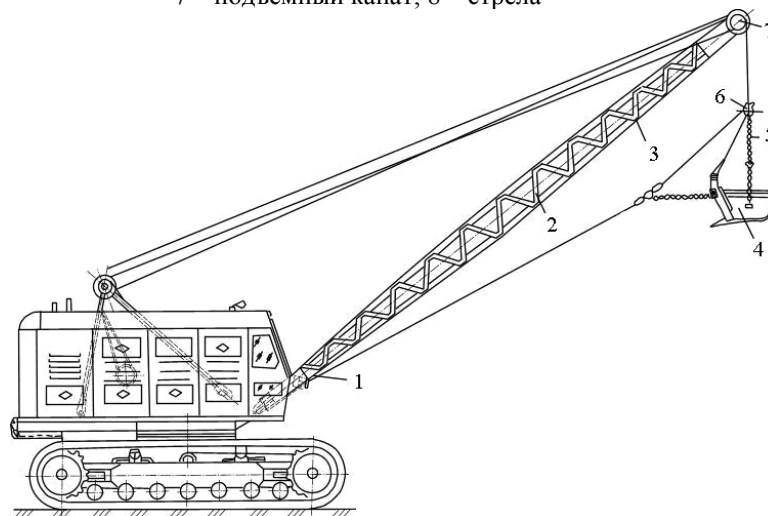


Рис. 30.6. Экскаватор ТЭ-3М:

1 – наводка; 2, 3 – хвостовая и головная части стрелы; 4 – ковш; 5 – подвески ковша; 6 – разгрузочный блок; 7 – головка стрелы

На экскаваторе установлены три трехступенчатые редуктора механизма поворота платформы и передвижения правой и левой гусениц. Установленный на насосе регулятор мощности обеспечивает постоянную нагрузку двигателя независимо от сопротивления на рабочих механизмах и автоматическое изменение скоростей рабочих органов при изменении нагрузки.

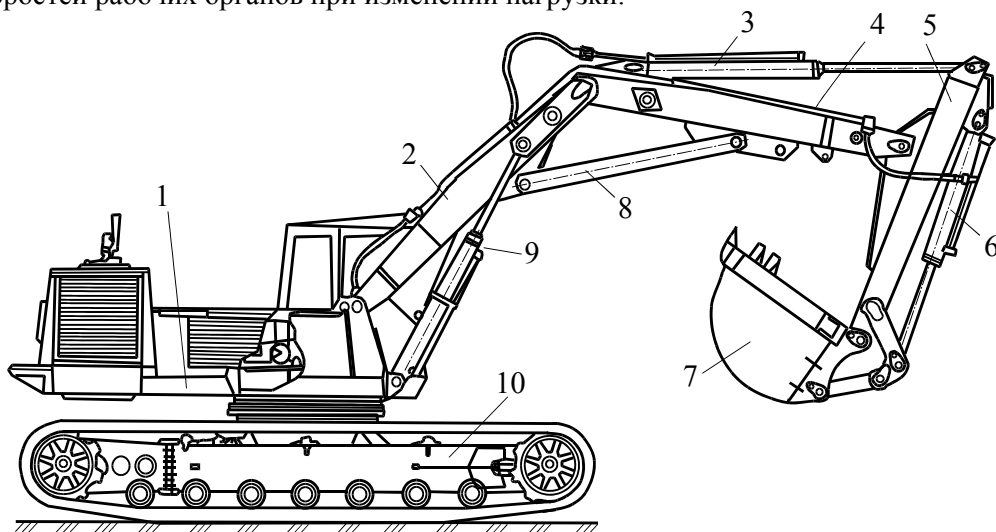


Рис. 30.7. Экскаватор ЭО-4221 (МТП-71):

1 – поворотная платформа; 2 – базовая стрела; 3, 6, 9 – гидроцилиндры; 4 – главная стрела; 5 – рукоятка; 7 – ковш; 8 – тяга; 10 – гусеничный движитель

Гидроцилиндры имеют демпфирующие устройства управления цилиндрами, позволяющие фиксировать ковш в любом положении, обеспечивая высокую точность выдерживания глубины копания и профиля канала.

Поворотная платформа, поворотное устройство и привод экскаватора полностью унифицированы с экскаватором ЭО-4121.

На малых и средних осушительных сетях для очистных работ применяют драглайны к экскаваторам ЭО-3211, Э-652Б, оборудованные боковой стрелой, что дает возможность очищать дно без подрезки закрепленных откосов, а также очищать откосы боковой стороной профильного ковша.

На рисунке 30.8 показано рабочее оборудование драглайна бокового копания на базе экскаватора ЭО-3211. Между поворотной платформой и гусеничным ходовым оборудованием на опорно-поворотном устройстве установлен тормоз, предотвращающий поворот платформы при копании на значительном вылете стрелы. К рабочему оборудованию относятся стрела, укосина, ковш, подъемный и тяговый канаты.

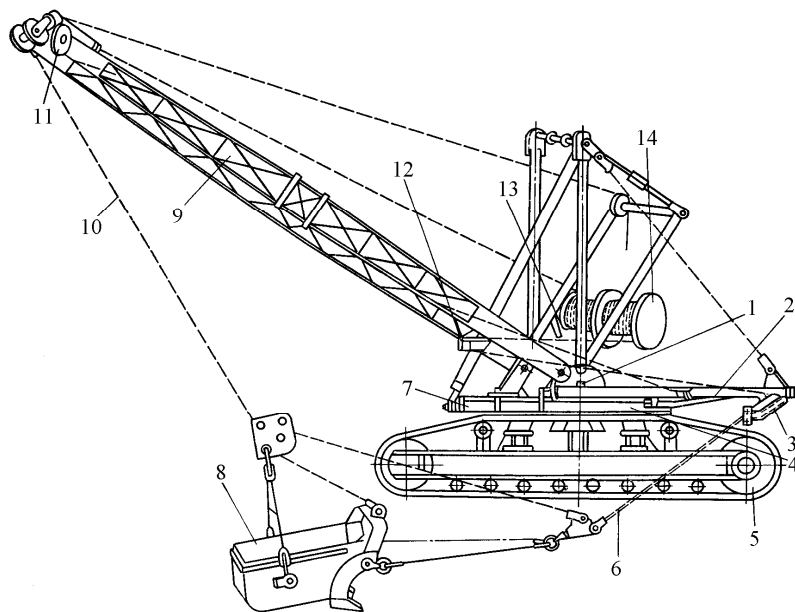


Рис. 30.8. Рабочее оборудование бокового драглайна экскаватора ЭО-3211Е:

1 – поворотная платформа; 2 – укосина; 3 – вертлюг; 4 – опорно-поворотное устройство; 5 – гусеничный ход; 6, 10 – канаты; 7 – тормоз; 8 – ковш; 9 – стрела; 11, 12 – блоки; 13, 14 – подъемный и стрелоподъемные барабаны

При очистке канала ковш перемещается вдоль его оси тяговым канатом, который через вертлюг и обводной блок навивается на тяговый барабан. При разгрузке ковш поднимается подъемным канатом, который проходит через блоки на конце стрелы и навивается на подъемный барабан. При этом тяговый канат затормаживается. После поворота платформы к месту отсыпки грунта тормоз тягового каната освобождается, ковш висит на подъемном канате и разгружается. Затем поворотная платформа возвращается для заброса ковша к месту очистки канала, и цикл повторяется.

Недостаток бокового драглайна – большой поворотный момент, который действует на поворотную платформу, которая требует специальных предохранительных или тормозных устройств на поворотном механизме, а также затрудненная очистка канала через дамбу.

Схема работы экскаватора, оборудованного боковой стрелой, приведена на рисунке 30.9.

Распространен циркульный ковш с удлинителем рукоятки НО-17 до экскаватора ЭО-3211 (рис. 30.10), он предназначен для очистки открытых мелиоративных каналов от наносов и растительности глубиной до 4 м, проложенных в грунтах I–II категорий при глубине воды в канале до 0,5 м и удельном объеме заиления 0,35...0,50 м³/м.

Оборудование монтируется на рукоятку экскаватора, на конце которой шарнирно закреплен расширенный ковш. Почва набирается поворотом ковша относительно удлинителя рукоятки с помощью гидроцилиндра поворота. Для управления гидроцилиндром поворота на экскаваторе дополнительно устанавливается гидрооборудование.

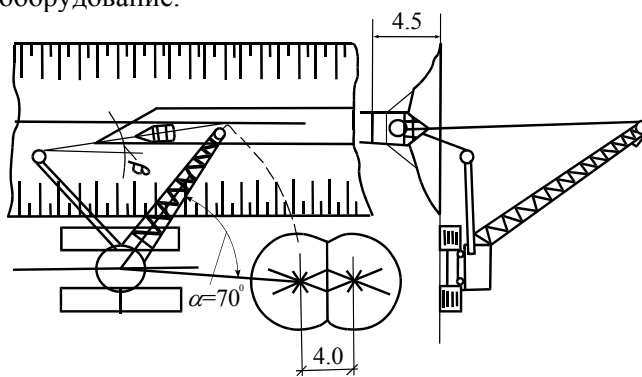


Рис. 30.9. Схема работы экскаватора, оборудованного боковой стрелой

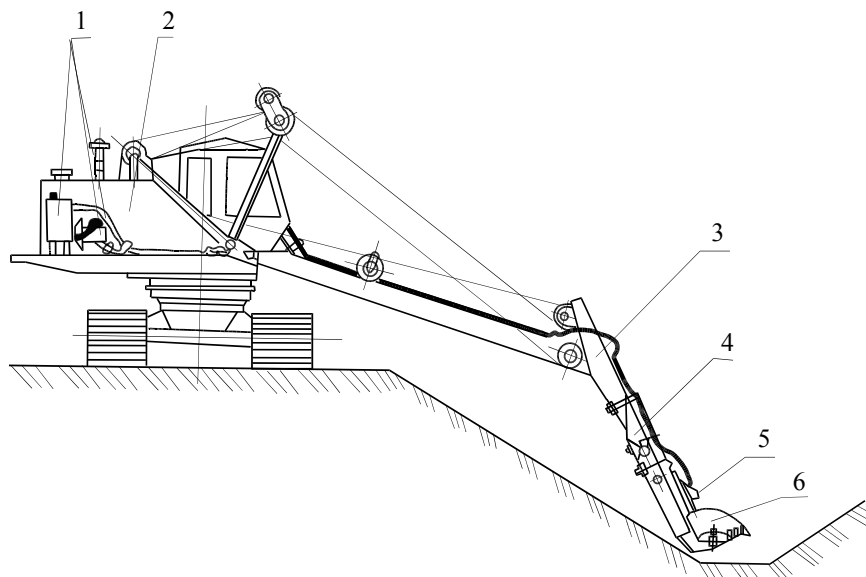


Рис. 30.10. Расширенный циркульный ковш к экскаватору ЭО-3211Е:

1 – гидрооборудования; 2 – базовая машина; 3, 4 – рукоятки; 5 – гидроцилиндр; 6 – ковш

При очистке каналов и рек-водоприемников небольшой ширины применяют одноковшовые экскаваторы, оборудованные специальными устройствами типа ковшей (рис. 30.11).

Для очистки укрепленного и неукрепленного дна мелиоративных каналов от наносов и растительности глубиной 2,0...2,5 м при закладке откосов от 1:1 до 1:1,5, а также для подбора скошенной растительности с дна и откосов каналов предназначен комплект сменного оборудования, который монтируется на экскаваторе-погрузчике ПЭА-1,0 и включает в свой состав сплошной и решетчатый ковши и подборатель скошенной растительности.

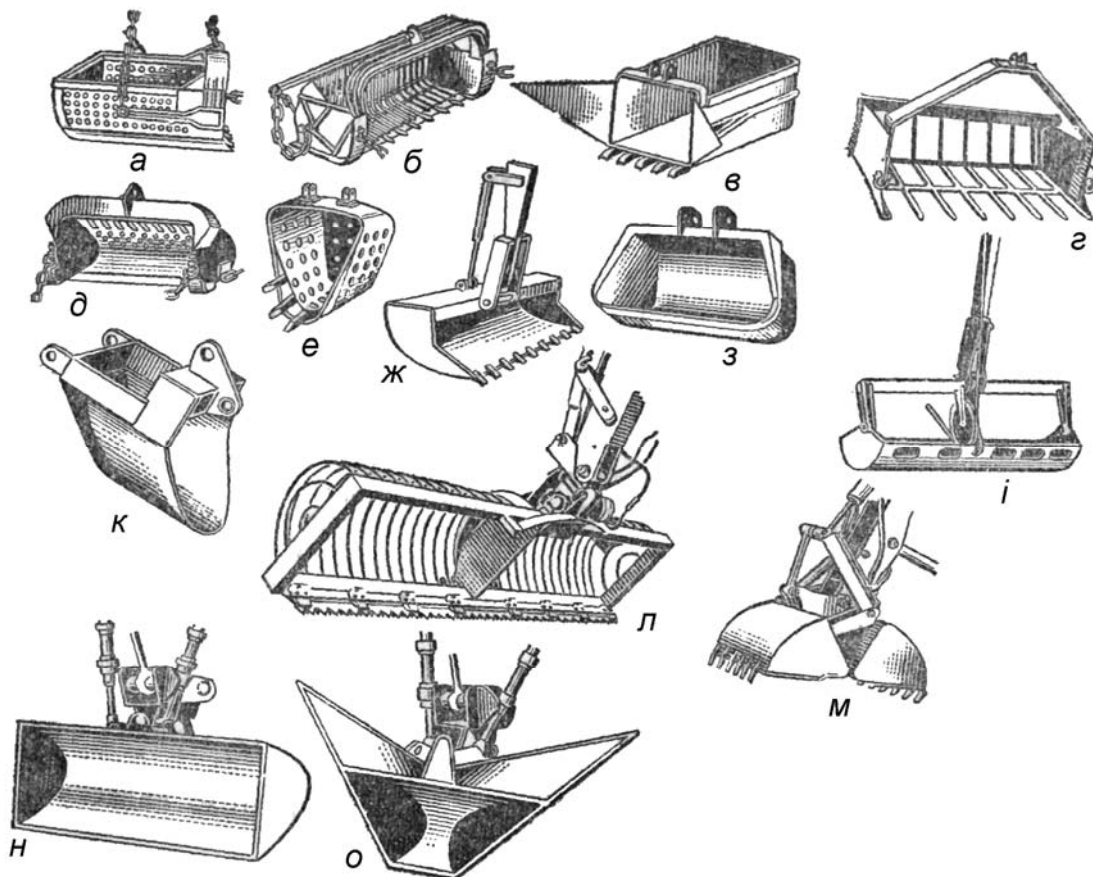


Рис. 30.11. Специальные ковши в одноковшовых экскаваторах для очистки каналов:

а – с отверстиями для очистки из-под воды; б – решетчатый; в – с открывками; г – решетчатый с удлиненными зубами; д – с прямолинейной режущей кромкой на лыжах; е – профильный с отверстиями; ж – расширенный поворотный с гидроприводом; з – расширенный из прямолинейной режущей кромкой; и – распространенный поворотный с канатным управлением; к – расширенный профильный; л – решетчатый с режущим аппаратом косилки; м – грейфер; н – ковш с поперечным наклоном; о – профильный

30.4.3. Каналоочистители с активными рабочими органами. В зависимости от типа рабочего органа каналоочистители с активными рабочими органами можно разделить на многоковшовые роторные и комбинированные (шнеко-роторные). Данный класс машин используют для очистки каналов глубиной до 3 м от ила и растительности. Эксплуатационные свойства и показатели этих машин приведены в таблице 30.4.

Каналоочиститель МР-14, который выпускается вместо МР-7А, предназначен для очистки дна и окашивания откосов облицованных и необлицованных каналов глубиной до 2 м с коэффициентом закладки откосов 1 : 1 – 1 : 1,5, при наличии в них слоя воды до 15 см в грунтах I и II категорий, а также для разравнивания кавальеров и планирования бермы. Для выполнения этих работ каналоочиститель оборудован ротором-метателем, косилкой и землесосом.

Каналоочиститель МР-14 (рис. 30.12) состоит из следующих основных сборочных единиц и механизмов: роторного рабочего органа, бульдозерного отвала с распространителями, универсальной рамы, поперечной балки, редуктора привода насоса, стрелы, рукоятки, транспортной стойки и гидросистемы.

При работе каналоочистителя с роторным оборудованием проводятся следующие операции:

- установки машины на одной из берм параллельно оси канала;
- отсоединение транспортного стояка и закрепления его на стреле машины;
- опускание рабочего органа на дно канала;
- включение роторного рабочего органа и рабочее перемещение машины вдоль канала.

Технологический процесс работы ротора-метателя заключается в том, что ножи крыльчатки ротора, вращаясь, врезаются в почву, перемеивают его с водой, образуя пульпу. Пульпа под действием центробежных сил выносится за пределы канала.

Каналоочиститель МР-14 может иметь, кроме роторного рабочего органа, сменное рабочее оборудование – косилку, землесос. Ротационная косилка каналоочистителя МР-14 (РР-41) аналогична по конструкции косилке КРН-2.1.

Технические характеристики каналоочистителей

Показатель	МР-15	ЭМ-152Б	МР-14	МР-16	МР-12А	КМ-82	МР-19
Тип машины	Самоходные со специальным раздвижным		Смонтированные на гусеничных тракторах		Смонтированные на базе экскаватора ЭТЦ-202А	Смонтированные на колесных тракторах	
Количество рабочих органов	1	1	4	2	6	6	6
Тип рабочего органа для выполнения основной технологической операции	Многоковшовые поперечного черпания		Роторный	Шнеко-роторный	Ротор	Роторный	
Энергетический модуль для агрегатирования	Самоходные		ДТ-75Б-С4	Т-130БГ-1	ЭТЦ-202А	МТЗ-82	МТЗ-82Р
Двигатель:							
- тип	Д-144	Д-37	СМД-14	Д-160	Д-240	Д-240	Д-240
- мощность, кВт (л.с)	44 (59)	37 (50)	55 (75)	120 (160)	55 (75)	55 (75)	58,8 (80)
Категория грунта, который разрабатывается	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II
Размеры каналов, которые обрабатываются:							
- глубина, м (до)	2	2	2	3	1,8	2	2,5
- ширина по дну, м	0,4...0,7	0,4...1,0	0,6...1,2	0,6...2,2	0,6...1,4	0,6	0,6
- заложения откосов	1:1-1:1,5	1:1-1:1,5		1:1-1:2	1:1-1:2	1:1-1:2	1:1-1:2
Габаритные размеры машины, мм:							
- длина	5250	6320	6725	8800	8200	4920	6500
- ширина	4200	7230...3370	3050	4800	2720	2500	2500
- высота	2750	3890	3310	3300	5000	3970	3800
Масса, кг	12590	9900	10740	25500	11840	-	-
- в т. ч. смонтированного на тракторе рабочего оборудования		1000	3070	9250	6450	-	-
Среднее давление на грунт, МПа	0,06	0,03	0,032	0,045	0,035	0,027	0,025
Скорость передвижения, км/ч							
- рабочая	0,36...1,62	0,26...0,39	0,34...4,88	0,075...0,21	0,15...0,59	0,03...0,72	0,02...0,7
- транспортная	5,04...9,72		5,45...11,49	0,7...2,9	до 4,4	20	20
Техническая производительность, м ³ /ч	30...40	40	35...50	50...70	60	34	35

Для очистки каналов глубиной до 3 м разработан каналоочиститель МР-16, который заменил МР-10. Он используется для очистки дна каналов в земляном русле от наносов и растительности в торфяных и минеральных почвах, сухих и с уровнем воды до 30 см, а также для планирования берм перед очисткой каналов, засыпки выемок и планировки площадок на грунтах I и II категорий.

Для очистки облицованных каналов от наносов и водорослей каналоочиститель МР-16 оборудован землевсасывающим рабочим органом.

Каналоочиститель представляет собой самоходную машину непрерывного действия с навесным оборудованием на базе болотоходного трактора Т-130БГ-И. Основными составными частями его являются: трактор (рис. 30.13), стрела с винтовой тягой и рукояткой, передняя рама, шнек с метателем, задняя рама с противовесом, рама с калорифером на ней, масляным баком, капотом, установка ходоуменьшителя и привода насосов, отвал, упор, тяга, толкающая рама, гидрооборудование, гидроцилиндры, электрооборудование.

Стрела каналоочистителя состоит из кожуха (рис. 30.14, а), каретки с четырьмя катками и выдвигной стрелы с винтовой тягой и рукояткой. Рукоятка закреплена на конце стрелы шарнирно пальцем-шарниром. Стрела выдвигается с помощью двух основных гидроцилиндров, штоки которых соединены между собой. Один из гидроцилиндров шарнирно соединен с кареткой, второй – с выдвигной стрелой.

Рабочий орган (рис. 30.14, б) предназначен для очистки дна каналов от наносов и растительности и выбрасывания продуктов очистки за пределы канала, состоит из гидродвигателя, редуктора, шнека, метателя, кожуха, направляющей заслонки и талрепов. Метатель предназначен для выброса

грунта и состоит из корпуса и переменных лопастей. Кожух метателя представляет собой сварную обечайку из листов, снизу которой приварена лыжа, а сверху – козырек, который ограничивает выброс грунта со стороны шнека на откосы канала. Рабочий орган опирается на лыжу.

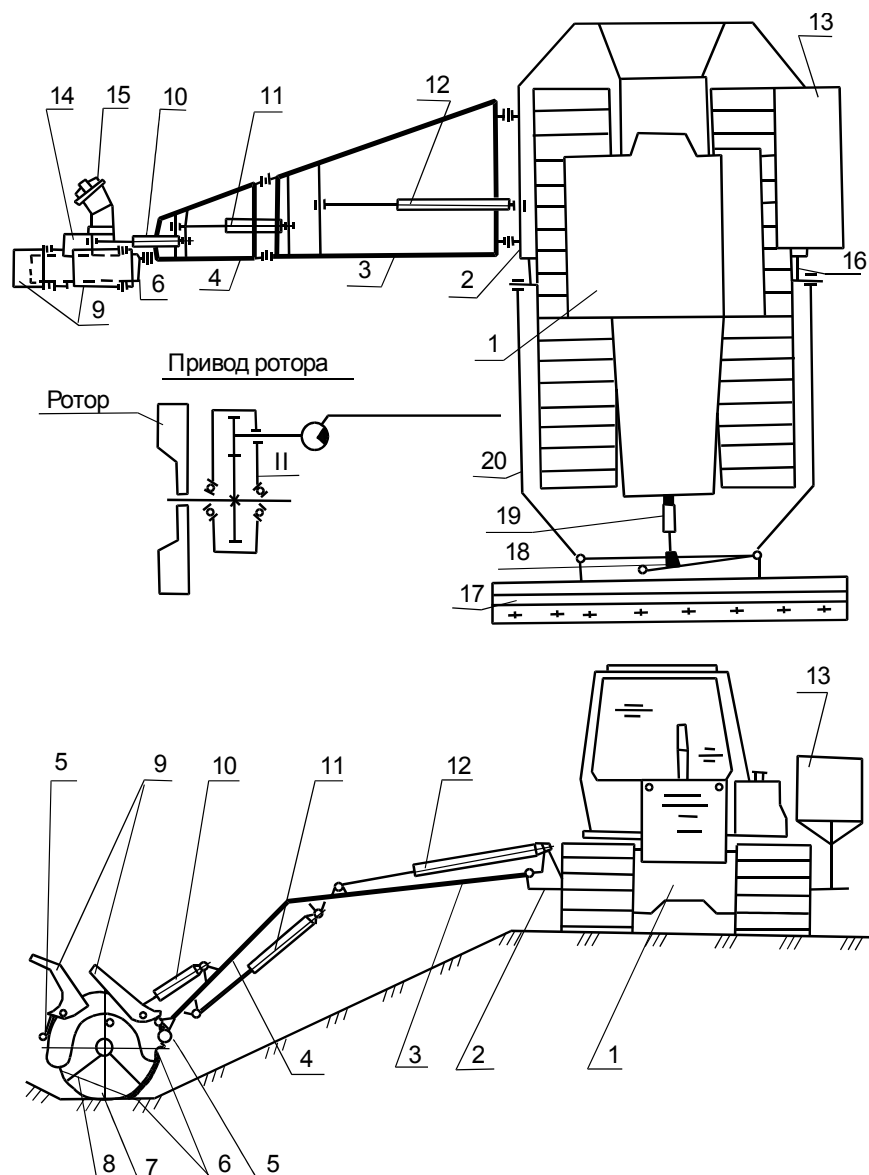


Рис. 30.12. Схема каналоочистителя МР-14:

- 1 – базовая машина (трактор ДТ-75ВС2); 2 – основная рама; 3 – стрела; 4 – рукоятка; 5 – талреп; 6 – кожух; 7 – метатель; 8 – лопасти; 9 – направляющие задвижки; 10–12, 19 – гидроцилиндры; 13 – бак для масла; 14 – редуктор; 15 – гидродвигатель; 16 – балка; 17 – отвал; 18 – рамка; 20 – универсальная рама

Заслонка обеспечивает кучный выброс грунта, препятствует попаданию грунта на откосы канала и позволяет регулировать дальность его выброса. Она закреплена на кожухе метателя. Рабочий орган подвешен на рукоятке шарнирно с помощью втулок, пальцев и закреплен болтами. Поворот рабочего органа вокруг оси подвески и рукоятки осуществляется с помощью талрепа.

Мелиоративный экскаватор ЭМ-152Б (ЭМ-202) – машина непрерывного действия – предназначен для очистки дна и одного из откосов или только дна канала глубиной до 2 м в земляном русле при коэффициентах заложения откосов 1: 1 – 1: 1,5, проложенного в торфяных или минеральных почвах I–II категорий. Это самоходная землеройная машина (рис. 30.15) с раздвижным гусеничным ходом поперечного черпания, состоит из следующих основных сборочных единиц и механизмов: многоковшовой цепи, основной рамы, натяжного устройства, планирующего звена, обводной звездочки с кронштейном, укосины, редуктора привода ковшевой цепи, лопастного метателя, базовой машины, телескопической рамы.

От двигателя через муфту сцепления приводятся в движение трехскоростная коробка передач и бортовые фрикционы, от которых движение передается главной и вспомогательной гусеницам. На

коробке передач установлены гидронасосы, питающие гидромоторы привода ковшевой цепи, метателя и гидроцилиндры управления подъемом ковшевой рамы и поворота вспомогательной гусеницы.

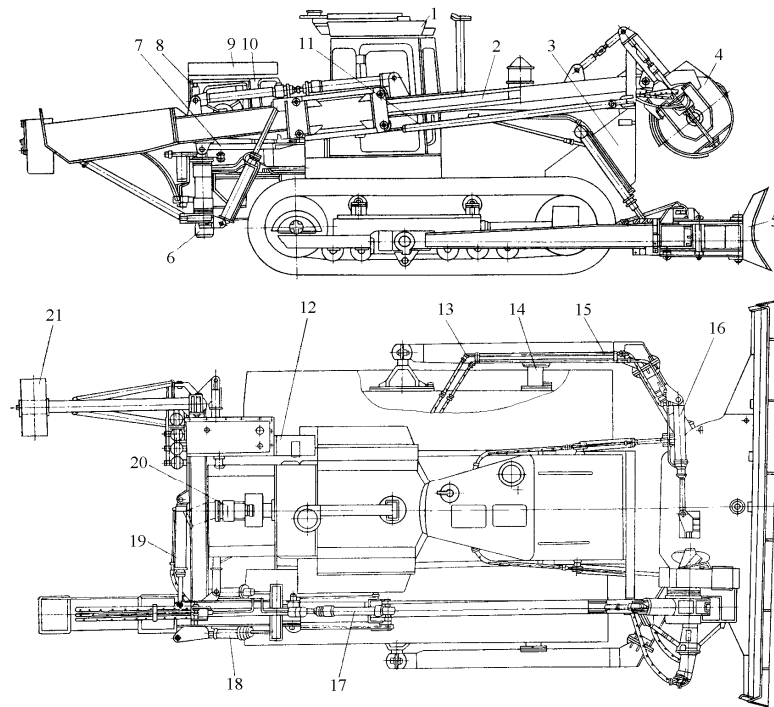


Рис. 30.13. Каналоочиститель МР-16:

1 – трактор; 2 – стрела; 3, 6, 15 – передняя, задняя и толкающие рамы; 4 – шнек с метателем; 5 – отвал; 7 – рама; 8 – калорифер; 9 – капот; 10 – масляный бак; 11 – тяга; 12 – ящик; 13 – гидрооборудования; 14 – упор; 16–19 – гидроцилиндры; 20 – ходоуменьшитель; 21 – противовес

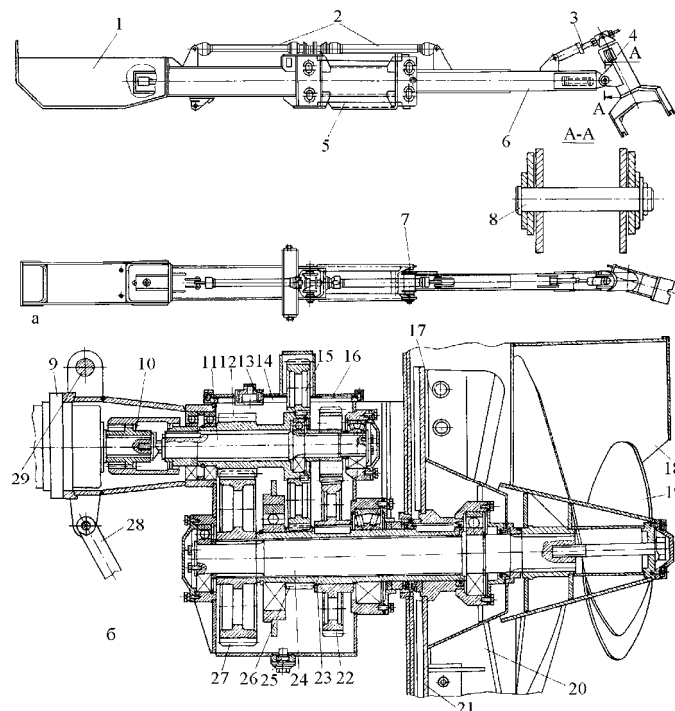


Рис. 30.14. Рабочее оборудование каналоочистителя: а - стрела; б - рабочий орган

1 – кожух; 2 – гидроцилиндр; 3 – тяга; 4 – рукоятка; 5 – каретка; 6 – выдвижная стрела; 7 – каток; 8, 29 – пальцы; 9 – гидродвигатель; 10 – зубчатая муфта; 11, 23, 24 – валы; 12, 15, 16, 22, 25, 27 – шестерни; 13 – сапун; 14 – корпус редуктора; 17 – метатель; 18 – кожух; 19 – шнек; 20 – лопатка; 21 – корпус метателя; 25 – магнитная пробка; 28 – талреп

Привод ковшевой цепи осуществляется от гидродвигателя через трехступенчатый редуктор, а привод метателя – гидродвигателем через одноступенчатый редуктор. От приводного вала через цепную передачу одновременно с метателем приводится в действие транспортер.

Рабочий орган каналоочистителя ЭМ-152Б (ЭМ-202) – многоковшовый, поперечного черпания, состоит из рамы с планирующим звеном, натяжным устройством, ковшовой цепи со звездочками и ковшами, которые поддерживаются роликами. Привод рабочего органа автономный – от гидродвигателя через редуктор, который крепится к раме. Натяжитель – это рамка, которая перемещается в направляющих рамы с помощью винта.

Планирующее звено крепится к рамке направляющего устройства шарнирно и имеет возможность с помощью червячного механизма с ручным приводом вращаться для установки в соответствии с профилем канала. Рама рабочего органа свободно подвешена с помощью кронштейнов на двух тросах на пилоне и поднимается (или опускается) двумя гидроцилиндрами через систему полиспастов и блоков. От продольного и поперечного перемещения рабочего органа фиксируется на машине укосиной ползунком пилона.

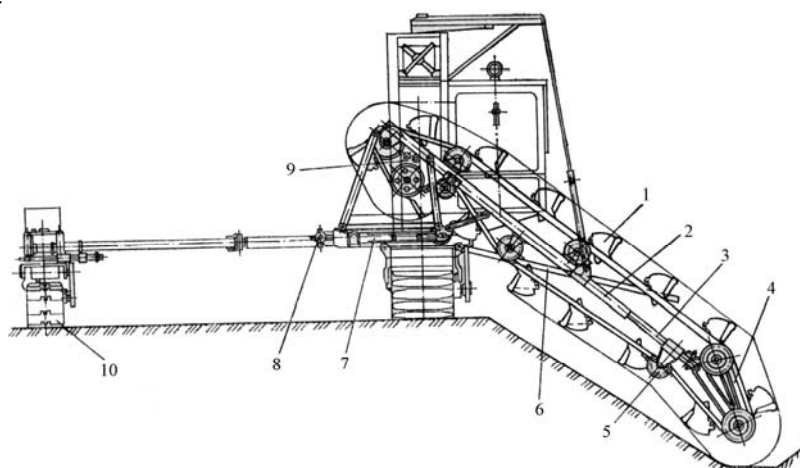


Рис. 30.15. Конструктивная схема каналоочистителя ЭМ-152Б:

1 – многоковшовая цепь; 2 – основная рама; 3 – натяжитель; 4 – планирующее звено; 5 – звездочка; 6 – укосина; 7 – транспортер; 8 – метатель; 9 – редуктор; 10 – выносная приводная опора

Ковшовая цепь состоит из двух бесконечных цепей, в которых с помощью серег, тройников и пальцев прикреплены пятнадцать ковшей с подвижным днищем.

Очистка ковшей над транспортером проводится принудительно: выступление подвижного днища ковша, сталкиваясь с роликом, поворачивается вокруг оси и выбрасывает грунт из ковша. После прохождения ролика днище возвращается в исходное положение пружинным устройством.

Недостаток данной конструкции очистки ковшей – неустраняемые ударные нагрузки, поэтому для их уменьшения и повышения срока службы рабочего органа в НУВХП разработано и внедрено в производство устройство для принудительной разгрузки ковшей мелиоративных экскаваторов (а. с. № 901386, СССР).

При движении ковша выступ задней стенки взаимодействует с роликом, который движется вверх и сжимает пружину до момента контакта ее с ограничителем хода. Благодаря этому время дополнительной загрузки тяговой цепи увеличивается, что приводит к устранению ударных нагрузок.

Группа ученых НУВХП предложила принципиально новое устройство для принудительной разгрузки грунта с ковшей многоковшовых мелиоративных экскаваторов (а. с. № 1244240, СССР), в состав которого входят очиститель, установленный на параллелограммном механизме, приводной вал с кулачком, имеющим профилированные участки, шатун, кривошипы, роликовый толкатель, пружину (рис. 30.16).

При вращении приводного вала с ведущими звездочками и кулачком тяговые цепи подводят ковш к очистителю, при этом он занимает крайнее левое положение. При дальнейшем движении ковша один из профилированных участков кулачка действует на роликовый толкатель рабочего хода таким образом, что очиститель копирует профиль днища ковша, одновременно перемещаясь в крайнее правое положение и выгружая почву из ковша.

Привод ковшовой цепи осуществляется от гидродвигателя НПА-64 через понижающий редуктор. Телескопический вал привода вспомогательной гусеницы состоит из соединенных телескопических пустотелых валов.

Движение вращения от вала к валу передается двумя шпонками, закрепленными винтами во втулке вала. Вал получает вращение от карданной головки, приваренной к концу вала. Блок звездочек служит для передачи вращения от коробки передач к основной гусенице. Телескопический вал обеспечивает наименьшее расстояние между гусеницами 2 м и наибольшее – 5,5 м.

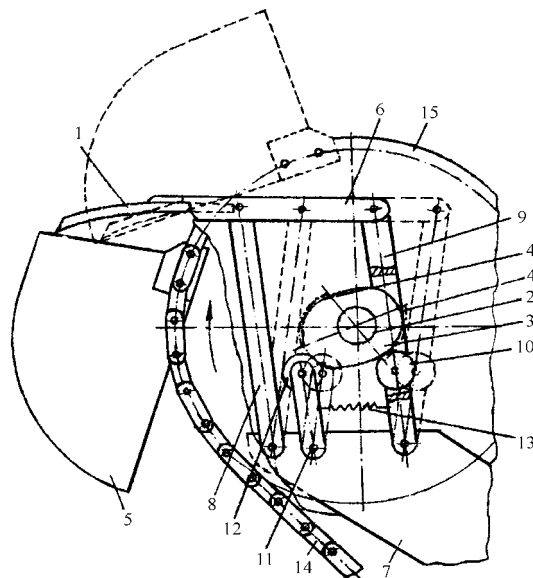


Рис. 30.16. Устройство для очистки ковшей мелиоративных экскаваторов:

1 – очиститель; 2 – вал; 3 – кулачок; 4 – профилированный участок; 5 – ковш; 6 – шатун; 7 – рама; 8, 9 – кривошипы; 10, 12 – толкатели; 11 – поводок; 13 – пружина; 14 – цепь; 15 – звездочка

Приводная головка (рис. 30.17) привода вспомогательной гусеницы представляет собой конический редуктор и состоит из карданной вилки, закрепленной на шлицевом валу, промежуточного вала, вторичного вала и двух корпусов.

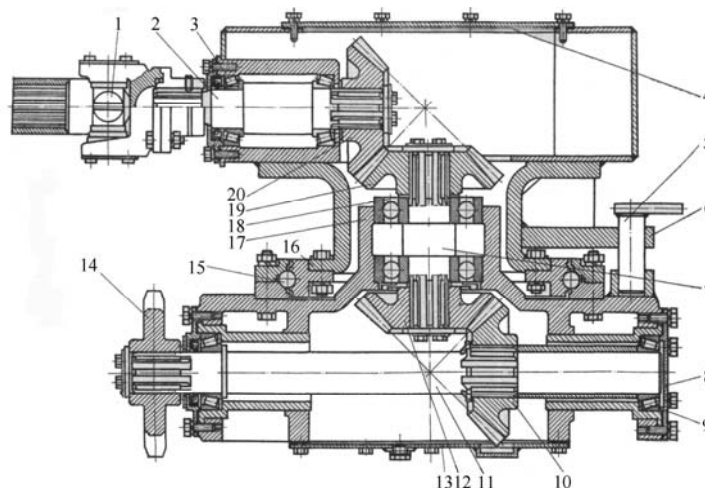


Рис. 30.17. Приводная головка вспомогательной гусеницы каналоочистителя ЭМ-152Б:

1 – карданная вилка; 2, 7, 11 – валы; 3, 9, 18 – подшипники; 4, 8, 13 – крышки; 5 – палец; 6 – держатель; 10, 12, 19, 20 – шестерни; 14 – звездочка; 15 – опорно-поворотный круг; 16, 17 – корпус

Поскольку вспомогательная гусеница для изменения колеи вращается в горизонтальной плоскости, между корпусами установлен опорно-поворотный круг, позволяющий вращаться одному корпусу относительно второго вокруг оси промежуточного вала. Фиксация корпусов осуществляется пальцем, повороты корпусов – гидроцилиндром.

Гидравлическая система каналоочистителя (ЭМ-152Б (ЭМ-202)) обеспечивает привод ковшовой цепи транспортера, метателя, подъем и опускание ковшовой рамы, поворот вспомогательной гусеницы и управления бортовыми фрикционными.

Мелиоративный экскаватор ЭМ-152В предназначен для очистки и ремонта каналов мелкой и средней осушительной и оросительной сети. Бесступенчатый гидропривод гусеничного хода и рабочего органа этой машины отличает ее от экскаватора ЭМ-152Б (ЭМ-202) с механическим приводом. Существенным преимуществом машины является смещение рабочего органа относительно продольной оси, что упрощает процесс настройки ее на заданный профиль канала. Введение механизма поворота рабочего состояния в транспортное положение с закреплением его на вспомогательной гусенице значительно облегчает транспортировку машины своим ходом и на трейлере.

Каналоочиститель МР-15 является самоходной машиной непрерывного действия с гидравлическим приводом всех основных механизмов. Он предназначен для очистки дна и одного из откосов

канала или только дна канала глубиной до 2 м в земляном русле при коэффициенте заложения откосов 1: 1 – 1: 1,5, проложенного в торфяных или минеральных почвах I и II категорий.

Каналоочиститель (рис. 30.18) состоит из многоковшового рабочего органа с установкой метателя, гусеничного движителя, двигателя с установкой капота, кабины, пилона привода насосов, электрооборудования, установки настила, опоры, топливного бака. Механизмы управления сосредоточены в кабине машины и имеют привод от гидросистемы.

В отличие от ЭМ-152Б в ЭМ-152В (ЭМ-202) рабочий орган подвешен к пилону жестко. Установка его в рабочее положение при очистке каналов различной глубины осуществляется с помощью гидроцилиндров. Гидроцилиндром проводится продольное перемещение рабочего органа в подвесках пилона. Гидроцилиндр служит для опускания или подъема нижнего конца рабочего органа в зависимости от коэффициента заложения откосов. Машину поворотом колонны переводят из транспортного положения в рабочее, и наоборот, а поворотом верхнего портала «седлающая» схема ее работы переводится в «береговую».

Рабочий орган подвешен к пилону подвеской, тягами, нижним порталом. Тяги и нижний портал соединены с верхним порталом и вращаются относительно колонны вместе с ним.

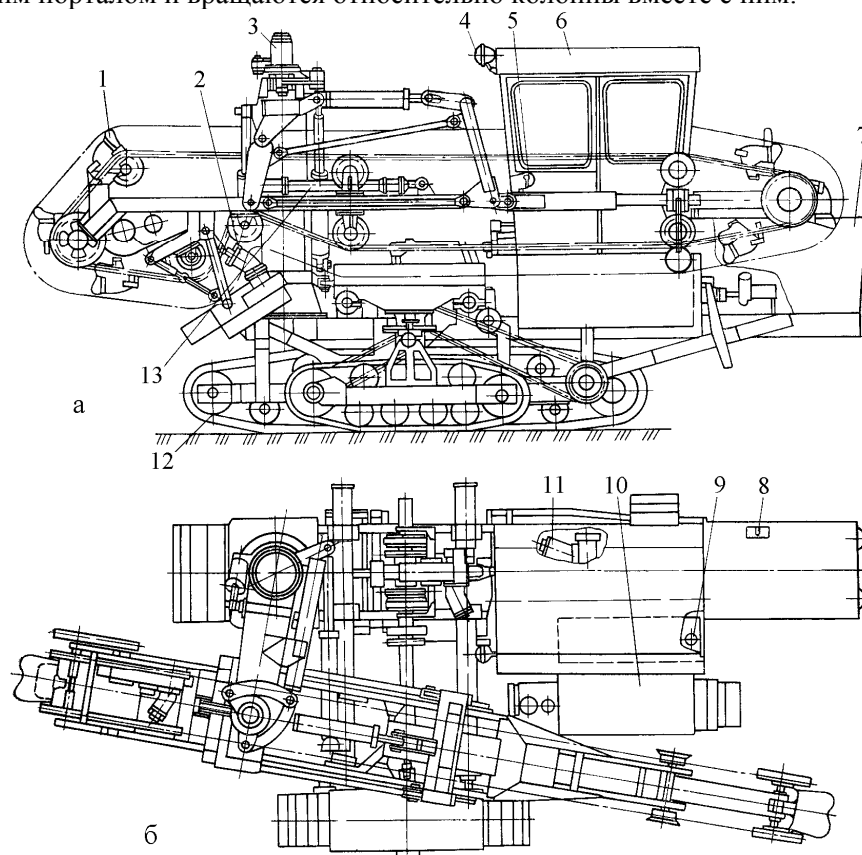


Рис. 30.18. Каналоочиститель МР-15:

а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – рабочий орган; 2 – метатель; 3 – пилон; 4 – электрооборудование; 5 – механизмы управления; 6 – кабина; 7 – капот; 8 – двигатель; 9 – топливный бак; 10 – настил; 11 – привод насосов; 12 – гусеничный движитель; 13 – гидросистема; 14 – опора

Многоцелевой каналоочиститель КМ-82 (рис. 30.19) с переменным рабочим оборудованием предназначен для проведения на мелиоративных каналах, проложенных в грунтах I и II категорий, комплекса ремонтно-эксплуатационных работ, которые включают:

- очистку русла закрепленных и незакрепленных каналов шириной по дну 0,5...1,0 м и глубиной до 2 м;
- очистку русла облицованных каналов, заполненных водой, шириной по дну 0,7...0,8 м и глубиной до 2 м;
- обкашивание откосов каналов и дамб шириной до 6,2 м;
- сгребание скошенной растительности с откосов каналов и дамб шириной до 6,2 м и вложения в валки;
- проведение планировочных работ.

Многоковшовый каналоочиститель КМ-82 (рис. 30.19) состоит из базового трактора МТЗ-82 и навесного каналоочистительного оборудования – расширенного, решетчатого и самоочищающихся

ковшей, роторной косилки, ротора-метателя, землесосного оборудования, подборщика скошенной растительности, ковша-косилки и бульдозерного оборудования.

К остову базовой машины прикреплена рама, на которой смонтированы стреловое шарнирно соединенное рабочее оборудование, дополнительная подвижная опора и противовес, а также гидро-система управления рабочим органом и привода активных рабочих органов.

Стреловое шарнирно соединенное рабочее оборудование включает стрелу с рукояткой для навески рабочих органов и гидроцилиндры управления стрелой, рукояткой и рабочими органами. Есть устройство, которое предотвращает поломку рабочего органа или отводу базовой машины в сторону, когда рабочий орган наткнулся на препятствие.

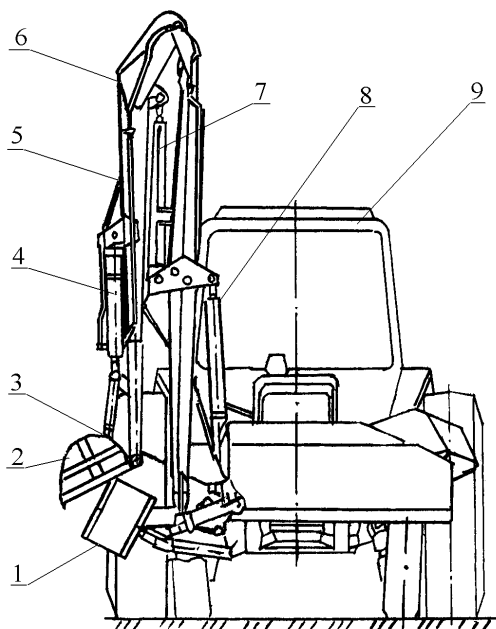


Рис. 30.19. Каналоочиститель КМ-82:

1 – опора; 2 – ковш; 3 – дополнительная рама; 4, 7, 8 – гидроцилиндры; 5 – рукоятка; 6 – стрела;
9 – базовая машина

Каналоочиститель МР-19 (рис. 30.20) предназначен для ремонта и содержания каналов в земляном русле, а также облицованных и укрепленных каналов в грунтах I и II категорий глубиной до 2,5 м. Имеет шарнирно соединенное оборудование типа «стрела-рукоятка», которое навешивается сзади трактора МТЗ-82Р. Такая навеска позволяет выполнять работы по очистке каналов рабочими органами активного действия, исправлять деформации русла и откосов ковшевыми и грейферными рабочими органами, обкашивать дно, откосы и бермы каналов ковшами-косилками, дисковыми и роторными косилками. Данный каналоочиститель состоит из колесного трактора, бульдозерного и навесного каналоочистительного оборудования с комплектом сменных рабочих органов, включающем ротор-метатель, землесос, косилку, ковш – обратную лопату, ковш-подборщик, ковши широкий и поворотный для очистки облицованных каналов и грейфер.

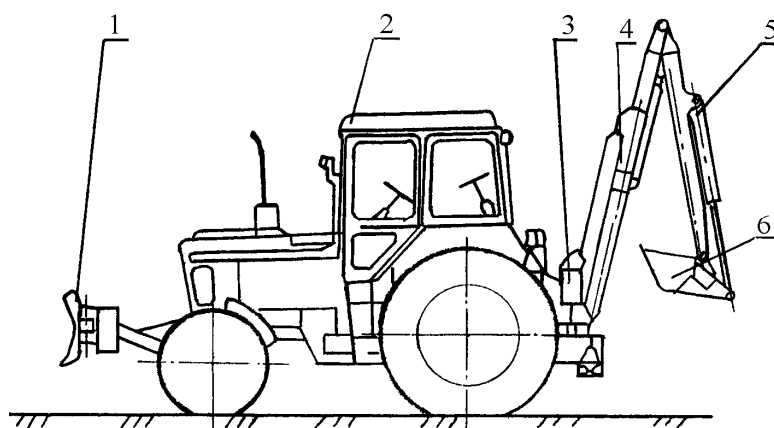


Рис. 30.20. Многоцелевой каналоочиститель МР-19:

1 – бульдозерное оборудование; 2 – базовая машина; 3 – поворотная колонна; 4 – стрела; 5 – рукоять; 6 – ковш

30.4.4. Мелиоративные косилки. Из-за большой протяженности каналов и потребности скашивать траву в них 1–2 раза в год удаление растительности из каналов является одной из наиболее распространенных ремонтно-эксплуатационных работ. Применение сельскохозяйственных косилок на этих работах не позволяет опускать рабочий орган на откос канала, рабочий орган расположен близко к колеи трактора, микрорельеф откоса канала значительно сложнее по сравнению с микрорельефом полей. По этой причине для срезки и удаления травы в каналах целесообразно использовать специализированные каналобкошующие косилки.

По способу удаления растительности режущие аппараты косилок делятся на сегментные, ротационные и ножевые. По числу роторов различают одно- и многороторные косилки; по способу размещения в канале – береговые, внутриканальные и плавающие.

Основные технические характеристики косилок приведены в таблице 30.5.

Мелиоративная косилка РР-22 (рис. 30.21) предназначена для скашивания травы на бермах и откосах каналов и дамб с разным заложением откосов. Она агрегируется с колесными тракторами класса 1,4 тс. Ее цепляют на трактор в передней части справа.

Мелиоративная косилка состоит из базовой машины, режущего аппарата привода режущего аппарата, универсальной рамы навески.

Таблица 30.5

Технические характеристики косилок

Показатель	РР-26	РР-22	РР-41
Производительность за 1 час основного времени	0,3...1,5	0,3...0,34	0,8
Показатели назначения: - ширина захвата, м - рабочая скорость, м/с	2,1 0,25...0,75	2,1 0,28...2,22	2,1 0,28...2,22
Размеры обкашиваемых каналов: - глубина, м - ширина откоса, м - заложения откосов - высота среза, см	1:1-1:1,5 8	1,5 2,1 1:1-1:1,5 6,4	2,5 6 1:1-1:1,5 8
Тип режущего аппарата	Ротационный	Сегментно-ножевой	Ротационный
Количество роторов	4	-	4
Тип привода режущего аппарата	В-6 ВВП трактора	Гидромеханический	Гидравлический
Угол наклона рабочего аппарата, град: - вверх - вниз	90 60	90 60	90 45
Необходимая ширина бермы, м	3	3	3
Энергетический модуль для агрегирования	трактор тягового класса 1,4		МР-14
Габаритные размеры машины в транспортном положении, мм: - длина - ширина - высота	3800 3000 3400	3815 3100 2485	3350 4680 3340
Масса навесного оборудования, кг	630	650	950
Численность обслуживающего персонала, чел.	1	1	1

Режущий аппарат данной косилки – стандартный, нормального реза с одинарным ходом ножа.

Основными частями режущего аппарата является пальцевый брус, внутренний башмак, палец, пластины трения, внешний башмак, полевая доска.

Нож состоит из сегментов и спинок. К пальцевому брусу прикреплены болтами с потайными головками девятнадцать пальцев. На правом конце пальцевого бруса закреплен внешний башмак, на левом – внутренний и коробка привода. В пазах пальцев и башмаков установлен нож, который, двигаясь в этих пазах, скользит по противорежущим пластинам и пластинам трения.

Коробка привода косилки РР-22 (рис. 30.22) состоит из корпуса, в котором на подшипниках установлен вал мотор-насоса с эксцентриком привода колеблющейся вилки. На шлицевом валу закреплено водило, а на нем, в свою очередь, палец с приводным роликом режущего аппарата.

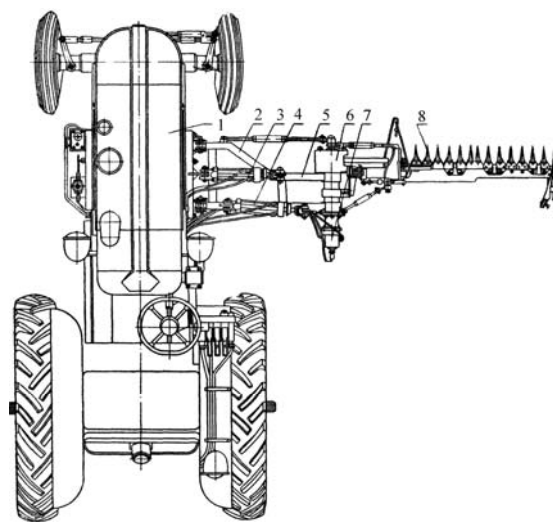


Рис. 30.21. Конструктивная схема косилки PP-22:

1 – базовая машина; 2 – подвижная рама; 3, 4 – гидроцилиндры; 5 – рама рабочего органа; 6 – кожух механизма привода; 7 – гидромотор; 8 – сегментный рабочий орган

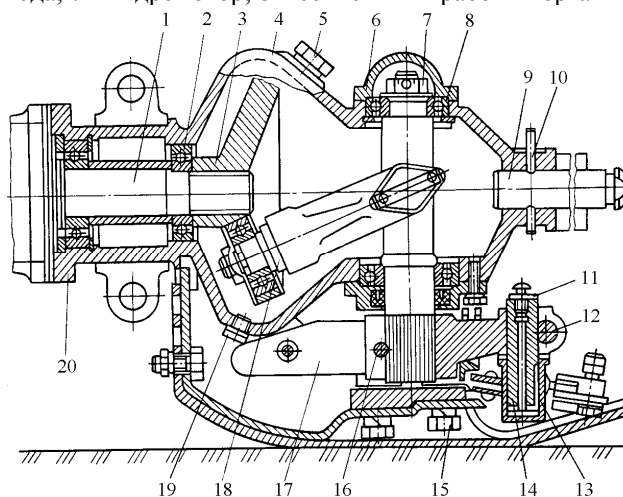


Рис. 30.22. Коробка привода косилки PP-22:

1 – двигатель-насос; 2, 8 – подшипники; 3 – эксцентрик; 4, 6 – крышки; 5, 19 – пробки; 7 – вал; 9 – штырь; 10 – шплинт; 11 – масленка; 12, 15, 16 – болты; 13 – приводной ролик; 14 – палец; 17 – водило; 18 – колеблющаяся вилка; 20 – корпус

Мелиоративная косилка PP-26 (рис. 30.23) предназначена для обкашивания откосов каналов и дамб, прежде всего при наличии густого травостоя или павшей мягкой травы, а также мелкой кустарниковой растительности диаметром до 15 мм.

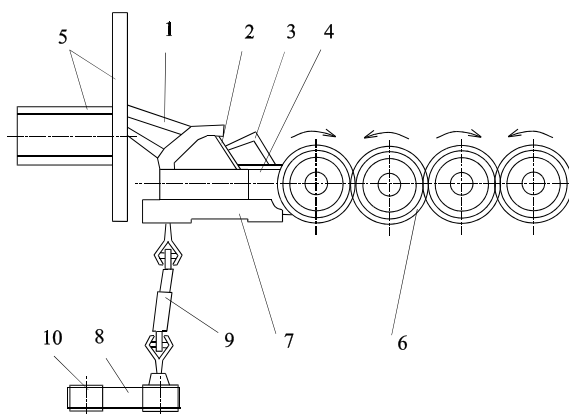


Рис. 30.23. Схема мелиоративной косилки PP-26:

1 – рама-навеска; 2 – тяговый предохранитель; 3 – подрамник; 4 – цапфа; 5 – подмоторная рама; 6 – режущий аппарат; 7 – клиноременная передача; 8 – блок отбора мощности; 9 – карданный вал; 10 – задний вал отбора мощности трактора

Мелиоративная косилка РР-26 (рис. 30.23) предназначена для обкашивания откосов каналов и дамб, прежде всего при наличии густого травостоя или павшей мягкой травы, а также мелкой кустарниковой растительности диаметром до 15 мм. Косилка РР-26 агрегируется с колесными тракторами и закрепляется с помощью подмоторной рамы на трактор между передними и задними колесами.

30.4.5. Малогабаритные землесосные снаряды. Землесосные снаряды предназначены для работ по очистке от наносов оросительных и осушительных каналов, водохранилищ, прудов, а также для углубления рек и каналов, строительства оросительных и осушительных каналов, добычи строительных материалов. Они также могут быть использованы как плавающие насосные станции для орошения сельскохозяйственных культур в период вегетации.

Землесосные снаряды в мелиоративном и водохозяйственном строительстве классифицируют по ряду признаков:

- 1) по типу привода основного и вспомогательного оборудования – на дизельные, дизель-электрические, электрические;
- 2) способу отделения грунта от массива – с механическим и гидравлическим отделением почвы;
- 3) способу рабочего перемещения грунтозаборного устройства – якорное, свайное, хоботовое;
- 4) способу транспортировки пульпы – по плавающему или подвесному пульпопроводу.

Эксплуатационные свойства и показатели землесосных мелиоративных снарядов приведены в таблице 30.6.

Таблица 30.6

Технические характеристики землесосных снарядов

Показатель	МЗ-6	МЗ-11	УПМ-2	ЛС-27	ЗРС-Г
Производительность за 1 час основного времени, м ³	128...250	100	30...50	75...2 50	200
Максимальная глубина разработки, м:					
- фрезерным рыхлителем	6	5	3,2	8	8
- черпаковым устройством	-	-	3,8	-	-
- свободным всасыванием	10	6	4,5	1	11
Минимальная ширина канала, м	24	5	6	6	8
Максимальная ширина сечения разрабатывается за один проход, м	35...50	33	10	-	-
Максимальная осадка, м	1,3	0,56	0,5	0,6	0,55
Дальность транспортировки пульпы, м	1500	600	30	120	
Агрегатированность:					
- количество разрыхляющих устройств	2	3	3	3	2
Тип разрыхляющего устройства	Активный				
Габаритные размеры машины, мм:					
- длина	29000	13700	12255	14000	22500
- ширина	8500	2640	2400	7150	6150
- высота	5500	3200	900	4500	4000
Мощность двигателя энергетического модуля, кВт	980	154	40	221	220
Масса машины с комплектом рабочего оборудования, кг	192500	60000	14000	95000	42000

Типы разрыхляющих устройств малогабаритных земснарядов показаны на рисунке 30.24.

Схема землесосного снаряда МЗ-11 показана на рисунке 30.25. Земснаряд состоит из корпуса, надстройки, рубки, дизельного двигателя и почвенного насоса, электроагрегата АДЗОС, системы заливки и промывки, лебедок, механизма палевого хода, фрезерного разрыхлителя, корпусного пульпопровода, кран-балки, гидросистемы и электрооборудования.

В комплект земснаряда входят: рабочий орган для очистки облицованных каналов, рабочий орган для почв, заросших растительностью, наконечник всасывающего пульпопровода, плавающий и береговой пульпопроводы, наливная лодка для горюче-смазочных материалов, спасательная шлюпка, кран-балка. Способ рабочего перемещения земснаряда – свайно-напорный, свайно-тросовый и тросовый.

Подводная разработка грунта ведется с помощью разрыхлителя. Срезанный фрезой слой почвы смешивается с водой, всасывается грунтовым насосом и транспортируется по напорному пульпопроводу в отведенное место. Легкие почвы можно разрабатывать без рыхления – наконечником всасывающего трубопровода. Разработка грунтов, заросших растительностью, осуществляется фрезерным рыхлителем.

Перечисленные виды разработок ведутся свайно-контактным способом рабочих перемещений с напорным свайным ходом.

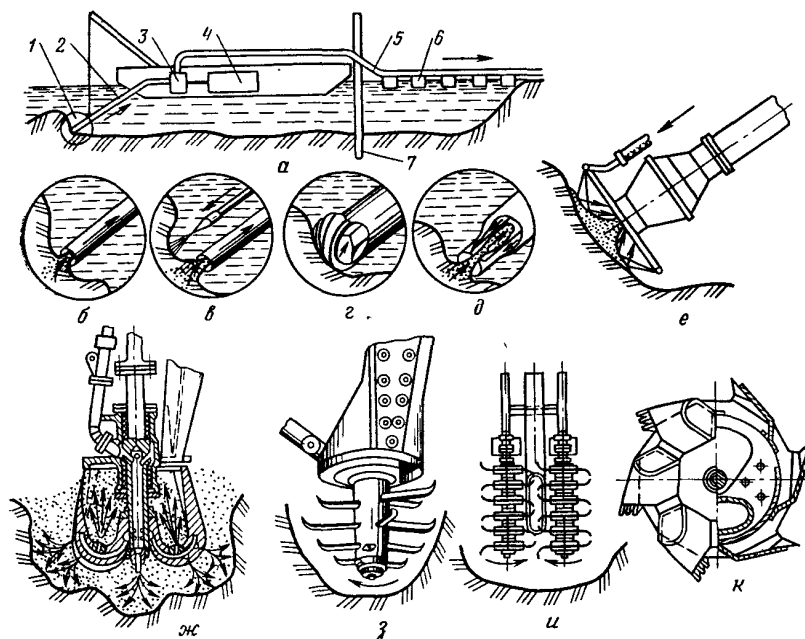


Рис. 30.24. Принципиальные схемы работы а – земснаряда: 1 – грунтоприемник; 2 – всасывающая линия; 3 – землесос; 4 – двигатель; 5 – нагнетательный пульпопровод; 6 – плавучий пульпопровод на понтонах; 7 – свайный ход; б – насос; в – грунтоприемник с гидромонитором; г – грунтоприемник с фрезерным рыхлителем; д – гидрожиклерный грунтоприемник; е – многосопловый гидравлический разрыхлитель с грунтоприемником; ж – фрезерно-гидравлический разрыхлитель с грунтоприемником; з – винтовой; и – ротационный; к – роторно-ковшовый разрыхлитель

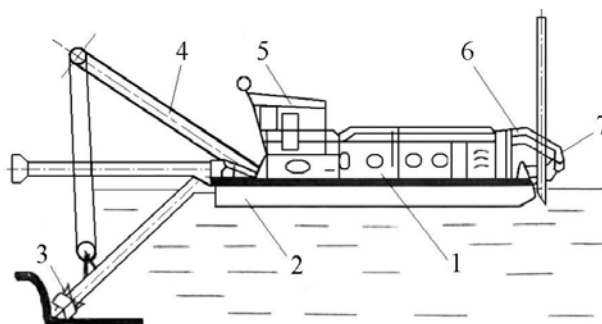


Рис. 30.25. Схема земснаряда МЗ-11:

1 – корпус; 2 – надстройка; 3 – рубка; 4 – механизм свайного хода; 5 – фрезерный рыхлитель; 6 – корпусный пульпопровод; 7 – кран-балка

Земснаряд имеет рабочий орган для очистки облицованных каналов. Рыхление осуществляется под действием водяных струй на слой наносов. Разрыхленные наносы вместе с водой всасываются щелевидным наконечником всасывающего пульпопровода и подаются к насосу. При этом земснаряд перемещается канатным способом. Рабочие механизмы земснаряда (за исключением почвенного насоса) имеют индивидуальные электрические и гидравлические приводы.

Корпус земснаряда состоит из трех понтонов. На среднем понтоне установлены рубка и надстройка. Он разделен на три герметичных отсека, в которых размещаются насосно-силовое оборудование, электроагрегат и вспомогательные системы. Боковые понтоны также разделены по длине на три герметичных отсека. Средний отсек, который служит емкостью под топливо, имеет подвесное дно и внешний борт. На палубе боковых понтонов установлены папильонажные лебедки.

30.5. Машины для строительства закрытого горизонтального дренажа и трубопроводов

30.5.1. Основные требования. Классификация дренажных машин. Строительство закрытых горизонтальных дрен и трубопроводов закрытых оросительных систем осуществляется с помощью специальных машин и механизмов. Рассмотрим сначала машины для устройства дренажа.

К дренажным машинам предъявляются следующие требования: обеспечить прокладку дренажа с нужным уклоном; прокладывать дрены на глубину до 2,5 м в зонах осушения и до 4,5 м в зонах орошения диаметром трубок от 50 до 300 мм и более; механизация труда при выполнении всех основных технологических операций.

Способы строительства дренажа разделяют в зависимости от метода заложения труб и устройства подземных полостей на траншейный и бестраншейный, а в зависимости от вида дрены – на трубчатый (материальный) и кротовый (нематериальный). Различают траншейные и узкотраншейный варианты строительства дренажа. При траншейном способе траншею отрывают путем выемки грунта. При траншейном (землеройном) способе применяют многоковшовые, а при узкотраншейном – многоковшовые, скребковые и специальные рабочие органы. Кроме землеройного, дренаукладчики имеют трубоукладочный рабочий орган для укладки труб и фильтрующего материала.

Дренаж бывает осушительный и ирригационный (отвод промывной воды для предотвращения почвы от засоления), и в зависимости от назначения существуют дренажные машины для зоны осушения и для зоны орошения. Первые в зависимости от времени года разделяют на обычные и на те, что работают в зимних условиях.

30.5.2. Дренаукладчики с активными рабочими органами. Экскаватор ЭТЦ-202Б является усовершенствованной моделью ЭТЦ-202А, в которой увеличена мощность двигателя, установлены бермоочистители, присыпатели дрен гумусной почвой, усовершенствована системы выдерживания заданного уклона. Экскаватор-дренаукладчик ЭТЦ-202Б (рис. 30.26) – это самоходная машина на гусеничном ходу с гидромеханическим приводом для рабочего перемещения и механическим приводом на рабочий орган 3 и ленточный конвейер 7.

Таблица 30.6

Технические характеристики экскаваторов-дренаукладчиков в зоне осушения

Показатель	ЭТЦ-202А	ЭТЦ-202Б	ЭТЦ-206
Размеры траншеи, м:			
- гарантированная глубина		2,0	2,0
- максимальная глубина		2,3	
- ширина		0,5	0,6
Предельный уклон дна траншеи	0,02...0,002		
Внешний диаметр трубок, мм:			
- керамических		50...190	
- пластмассовых		40...75	
Рабочие скорости, м/час	15...590	15...620	15...255
Регулирование рабочих скоростей	бесступенчатая		
Техническая производительность при разработке траншеи максимального сечения, м ³ /ч, не менее	70	85	100
Транспортные скорости, км / ч	1,11...4,41	1,2...4,8	до 5,2
Двигатель:			
- марка	Д-50	Д-242	Д-130
- мощность, кВт	40,4	44,1	85,6
Рабочий орган:			
- тип	ковшовый	ковшовый	специальный
- шаг цепи, мм	190	190	203
- количество ковшей / резцов /	12	12	(36)
- вместимость ковша, дм ³	23	23	-
- скорость цепи, м/с	0,74; 1,24	0,78; 1,31	1,4; 2,14
Конвейер:			
- тип	ленточный	ленточный дуговой	цепной скребковый
- ширина ленты (скребка), мм	650	650	350
- скорость ленты (скребков), м/с	3,0; 4,5	3,19; 4,77	1,95
Ходовое устройство:			
- база, мм		2950	3188
- колея, мм		1810	2282
Ширина гусеничной ленты, мм		533	920
Дорожный просвет, мм		425	500
Среднее давление на грунт, МПа		0,003	0,08
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:			
- длина		11500	10000
- ширина		2700	3250
- высота: по кабине		2620	3070
по трубоукладчику	4000	4950	4900
Масса, кг	10200	10800	24000

Привод осуществляется от двигателя 12, установленного на раме 13 экскаватора. Управляют машиной из кабины 8. На раме 13 установлен пилон 5, в середине которого расположен ленточный конвейер для перемещения извлеченного грунта в отвал на левый или правый бок. На пилоне в подшипниках скольжения расположен рабочий орган на раме 2 с датчиком 19 (или фоточувствительной головкой) и трубоукладчиком 1. Трубоукладчик навешивается на рабочий орган подвижно и может перемещаться гидроцилиндром на роликах по направляющим рамы рабочего органа. В задней части рамы 2 с левой стороны крепится присыпатель 17 предназначенный для присыпки гумусным грунтом дренажных труб. В транспортное и рабочее положение присыпатель переводится гидроцилиндром.

Рабочее оборудование экскаватора ЭТЦ-202Б состоит из рамы, ковшового рабочего органа, трубоукладчика и конвейера.

Ковшовый рабочий орган разрабатывает грунт, выносит его из траншеи и разгружает на конвейер. К рабочей цепи 10 прикреплены двенадцать ковшей 11. В приводе рабочей цепи установлена многодисковая фрикционная муфта, которая предотвращает рабочее оборудование от поломки при соприкосновении рабочей цепи с труднопреодолимым препятствием.

Рабочая цепь 10 приводится валом 2, на котором неподвижно насажены звездочки и две звездочки 3 со сменными венцами 2 для привода цепи. В средней части приводного вала на подшипниках скольжения расположен шатун 8, на котором устанавливают очиститель ковшей.

Трубоукладчик опускает на дно траншеи гончарные или пластмассовые трубы и одновременно вращает (изолирует) их снаружи одной или двумя лентами фильтрующего материала. Одну ленту (подстилающую) кладут на дно траншеи под дренажные трубы, вторую (покрывающую) – сверху труб.

Корпус 1 трубоукладчика сварной, внутри его закреплен пологий прутковый желобок 2 для спуска на дно траншеи дренажных труб. Желобок состоит из двух шарнирно соединенных частей, что позволяет нижнюю часть поднимать для закладки в специальное корыто кассеты 11 из подстилающей ленты фильтрующего материала. В задней (по направлению движения) части корпуса находится второе корыто для установки в него кассеты 7 с лентой покрывающего материала. Это корыто можно использовать также для запаса мха при использовании его в качестве фильтрующего материала. Боковое смещение фильтрующей ленты ограничено дисками кассет 7 и 11. В верхней части трубоукладчика находятся запасные рулоны 3 и 5 фильтрующего материала. В верхней части желобка установлено кольцо для пропуска пластмассовой дренажной трубы. До дна траншеи она прижимается роликом.

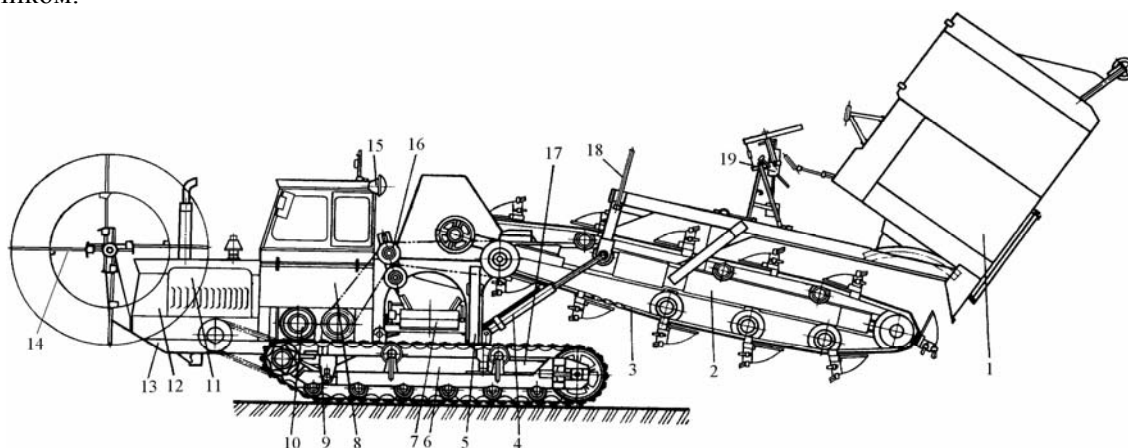


Рис. 30.26. Экскаватор-дреноукладчик ЭТЦ-202Б:

- 1 – трубоукладчик; 2 – рама рабочего органа; 3 – рабочая цепь; 4 – гидроцилиндры; 5 – пилон; 6 – рама гусеничного хода; 7 – конвейер; 8 – кабина; 9 – гусеничный ход; 10 – бортовой фрикцион; 11 – капот; 12 – двигатель; 13 – рама экскаватора; 14 – барабан для пластмассовых труб; 15 – электрооборудование; 16 – привод рабочего органа; 17 – присыпатель; 18 – направляющее кольцо для пластмассовых труб; 19 – датчик (или фоточувствительная головка)

Когда наибольшая глубина отрытой траншеи превышает 1700 мм, на верхнюю переднюю часть трубоукладчика устанавливают боковые щитки.

К опорной лыже на дне трубоукладчика приварен нож 12 для выработки треугольника на дне траншеи, который составляет основу для укладки труб диаметром 75 мм. Для труб большого диаметра устанавливают сменный нож. В нижней части трубоукладчика находится очиститель 13 дна траншеи, который можно регулировать по высоте. Нижнюю кромку очистителя устанавливают на уровне дна трубоукладчика, и она собирает грунт, который высыпается после рабочего органа.

30.5.3. Машины для бестраншейной прокладки дренажа и подземных коммуникаций.

30.5.3.1. Основные типы подземных коммуникаций и способы их строительства. Для интенсификации сельскохозяйственного земледелия применяют гидромелиоративные системы как комплекс гидротехнических, агротехнических, агро-мелиоративных и других почвозащитных мероприятий и сооружений, направленных на регулирование водно-воздушного режима почв и получения устойчивых высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Наибольшее распространение получили закрытые осушительные гидромелиоративные системы, основой которых является регулирующая сеть подземных дренажных трубопроводов и других элементов для сбора и удаления с территории избыточных поверхностных и грунтовых вод.

В странах СНГ около 80 % переувлажненных минеральных почв, что составляет 160 млн га, являются переходными (с коэффициентом фильтрации $K < 0,3$ м/сутки) и тяжелыми ($K < 0,1$ м/сутки) для проникновения воды в нижние горизонты. Для осушения таких почв наиболее эффективными считаются комбинированные дренажные системы. Они представляют собой гончарные или пластмассовые подземные трубопроводы диаметром 50...90 мм, которые засыпаны фильтрующим материалом (щебень, гравий, песок и другие) и поперечные кротовые дрены (грунтовые полости) или глубокое разрыхление междреннего пространства. Но из-за необходимости затраты больших объемов фильтрующих материалов и недолговечности кротовых дрен они не нашли широкого распространения.

В НУВХП разработана конструкция комбинированной агро-мелиоративной дренажной системы, которая позволяет повысить эффективность осушения тяжелых почв, снизить в 1,5...2 раза себестоимость строительства за счет резкого уменьшения объемов фильтрующих засыпок или отказа от них вообще и расширить область применения таких систем.

Комбинированная дренажная система представляет собой пластмассовые или гончарные трубчатые дрены с внешним диаметром до 110...120 мм, проложенные на глубине 0,9...1,0 м и на расстоянии между трубопроводами 20...40 м. Поперек дрен и на глубине 0,6...0,7 м проложены длинномерные дренажные элементы, изготовленные из сетчатой оболочки диаметром 60...80 мм, заполненной фильтрующим материалом (льнокостр, измельченная солома, гранулированный торф и другие). Расстояние между дренажными элементами составляет 6...10 м. Для повышения водоаккумулирующего свойства системы поперек дрен с минимальным шагом 1 м проводится многоярусная вспашка с обратным вращением слоев грунта внутри щели на глубину 0,6...0,7 м. Ширина захвата – 0,35...0,5 м. Гидравлическая связь между дренажными элементами осуществляется за счет разрыхления и оструктуривания почвы многоярусной вспашкой.

Водная эрозия наносит непоправимый вред земледелию, сопровождается значительными потерями плодородного слоя почвы, продуктивной влаги, удобрений и пестицидов, приводит не только к снижению урожайности, но и к загрязнению окружающей среды. В странах СНГ около 55 % (125 млн га) обрабатываемых земель подвергается эрозии.

Наиболее эффективной мерой по предотвращению эрозии является перевод воды поверхностного стока в состояние почвенной влаги за счет увеличения инфильтрационных свойств и улучшения его аэрации. Одним из способов такого перевода является вертикальное мульчирование. Его разработали и предложили американские ученые для почв с водонепроницаемым илювиальным горизонтом, чтобы увеличить водопроницаемость таких почв и интенсивность поглощения воды с поверхности поля. Суть его заключается в нарезке на расстоянии 1 м между ними V-образных щелей глубиной около 0,5 м, шириной на дневной поверхности 0,152 м, на максимальной глубине 0,076 м и подачи в подземный горизонт органического фильтрующего материала в виде измельченной соломы, торфа и других органических веществ.

Эффективность противоэрозионных мероприятий определяется в первую очередь морфологическими показателями щелей, которые нарезаются, из них наибольшее значение имеет объем пустот. Водоаккумулирующее свойство известных противоэрозионных мероприятий, в том числе вертикального мульчирования, ограничен, поэтому необходимо прежде всего разработать такие меры, чтобы была возможность увеличить объем поглощения воды почвой внутри щели и усилить его продольным влагоаккумулирующим элементом. Эффективность противоэрозионных систем также может быть увеличена за счет увеличения интенсивности бокового капиллярного поглощения воды стенками скважины. При этом плодородный слой почвы над щелью должен сохраняться и выполнять свою функцию.

С данной точки зрения более эффективной является противоэрозионная система, в которой водоаккумулирующие щели образованы с помощью многоярусной вспашки с одновременным их оструктуриванием за счет перемешивания ярусов грунта между собой. С верхнего слоя почвы образована фильтрационная стенка и в подземный горизонт подана кротовина, заполненная фильтрующим мате-

риалом. Такая система строится с целью сохранения плодородного слоя почвы, разрушения и оструктурирования трудноводопроницаемого слоя почвы, в котором проложена траншея с трубчатой дренажной и фильтрационной засыпкой, в нижней части которой присоединена кротовая дрена. В средней части междреннего пространства кротовая дрена выведена к подошве иливиального горизонта, где разорвана оструктурированными продольными щелями, которые разделены между собой продольной стенкой из трудноводопроницаемой почвы. Кротовая дрена выполнена в виде сетчатой оболочки, заполненной фильтрующим материалом органического происхождения, и положена в оструктурированную щель. Диаметр кротовой дрена – 60...80 мм. Глубина и ширина оструктурированной щели соответственно 0,4...0,6 м и 0,35...0,5 м.

Следующей, не менее важной проблемой является утилизация тепловых отходов промышленных предприятий, атомных и тепловых электростанций и использование их для нужд сельского хозяйства. Количество сбросного тепла, которое отводится с циркуляционными водами охлаждения технологического оборудования, составляет 300...350 млн т условного топлива ежегодно.

Предложено сбросные теплые воды использовать для обогрева грунта, что позволит повысить температуру его плодородного слоя на 2...8 °С и на одну-две недели раньше приступить к проведению весенне-полевых работ. При этом урожайность зеленой массы трав на легкосуглинистых почвах повышается на 27...40 % и появляется возможность для повторного использования воды в замкнутом цикле.

Для обогрева почвы и охлаждения воды разработана конструкция комплексной термогидромелиоративной системы, которая включает в себя обогревательную и осушительно-увлажняющую системы. Ее основными элементами являются подземная сеть блок-модулей полиэтиленовых трубопроводов диаметром 50...63 мм, которые заложены на глубине 0,6...0,7 м. Расстояние между трубопроводами 1,0...1,5 м. Расходы труб составляют 8...10 км на 1 га.

В связи с активной газификацией и водоснабжением сел большое значение имеет прокладка подземных распределительных трубопроводов низкого давления (до 1 МПа) диаметром до 300 мм. За рубежом строительство распределительных сетей проводят, как правило, из пластмассовых труб. Так, в США и Канаде строят 90 % таких газопроводов.

Замена металлических труб пластиковыми позволяет на одном километре трубопровода диаметром 160 мм сэкономить 18 т металла, около 7 т битума и сократить в 3,5 раза затраты труда. Фактический перерасход стального трубного проката на трубопроводах низкого давления из-за недоиспользования прочностных свойств металла труб составляет 200...240 тыс. т ежегодно. Пластмассовые трубы не подвергаются коррозии, а поэтому не нужно проводить их изоляцию и электрохимическую защиту. За счет гладкой внутренней поверхности потери напора на трение в них на 20...30 % меньше, чем в стальных и чугунных трубах, а потому практически исключена возможность зарастания проходного сечения. Гибкость пластмассовых труб позволяет повысить уровень механизации процесса их заглубления в подземный горизонт.

Для строительства распределительных газовых сетей с давлением до 0,6 МПа отечественная промышленность выпускает полиэтиленовые трубы диаметром 63, 110, 160, 225 мм. Глубина укладки распределительных газопроводов – 1,0...1,2 м, а водопроводов – 1,5...1,6 м в грунтах I...III категории.

Дреноукладчик предназначен для прорезывания щели глубиной до 1,6 м в талых минеральных почвах I категории с отдельными каменными включениями размером до 0,2 м и в торфяных почвах глубиной до 1,8 м и укладки пластмассовых дренажных труб диаметром до 90 мм, предварительно защищенных рулонным фильтрующим материалом, с соблюдением заданного уклона дрена. Он обеспечивает прокладки дрена при перемещении по трассе с неровностями высотой не более 20 см и длиной не менее длины продольной базы гусеничной тележки, а также при поперечном уклоне не более 3°.

Дреноукладчик (рис. 30.27) состоит из следующих основных частей: энергетического модуля, барабана для пластмассовых труб, дернореза, рабочего оборудования, гидросистемы и системы управления.

Энергетический модуль дреноукладчика состоит из силовой установки трактора К-701 и ходовой части трактора Т-130. В состав энергетического модуля входят: кабина, капоты, органы управления, передняя полурама, на которой монтируется двигатель, муфта, коробка передач, гидро- и пневмосистемы, система рулевого управления. Топливные баки перенесены вперед. Воздушные баллоны пневмосистемы, которые на тракторе стоят на топливных бачках, снесены под его площадки. На верхнем ушке полурамы монтируется траверса управления поворотом, к которой подсоединяется шток гидроцилиндра рулевого управления. Нижнее ушко полурамы вместе с лесенками переднего моста трактора К-701 служит для крепления к раме двигателя. Привод гусениц осуществляется от двигателя через коробку передач и карданную передачу привода хода и поворота. Для привода каж-

дой гусеницы дополнительно установлены промежуточный вал, карданные передачи и бортовые редукторы. Первая карданная передача применена от привода переднего моста, а задняя – от привода заднего моста трактора К-701. Используются бортовые фрикционы и тормоза от трактора Т-130, тормозные пневматические камеры и другие агрегаты пневмосистемы – от трактора К-701. Элементы гусеничной цепи, направляющее колесо с опорами и вилкой, механизм натяжения гусениц, опорные и поддерживающие катки, ведущая звездочка берутся от трактора Т-130, а большинство элементов гидросистемы управления энергетическим модулем – от трактора К-701. От двигателя модели ЯМЗ-240Б (мощность 220 кВт, частота вращения коленчатого вала 32 с-1) через полужесткую муфту обороты передаются первичной шестерне передачи привода насосов и далее через карданную передачу на первичный вал и коробку передач. От вала коробки передач через карданную передачу приводится раздаточный редуктор. От него через карданные передачи приводятся бортовые редукторы, включающие конические шестерни, планетарные редукторы, конечные передачи и звездочки привода гусениц. Бортовые фрикционы и тормоза установлены на валах раздаточного редуктора.

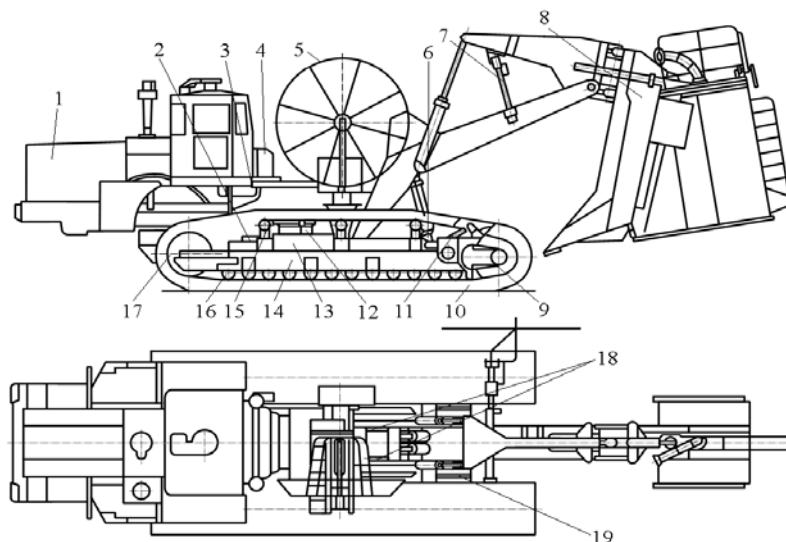


Рис. 30.27. Конструкция бестраншейного дреноукладчика:

- 1 – силовой модуль; 2 – двигатель; 3 – воздушные баллоны; 4 – топливные баки; 5 – барабан; 6 – гидросистема; 7 – система управления; 8 – рабочее оборудование; 9 – ведущая звездочка; 10 – гусеница; 11 – дернорез; 12 – тормозные пневматические камеры; 13 – механизм натяжения гусениц; 14 – рама двигателя; 15 – поддерживающие катки; 16 – опорные катки; 17 – направляющее колесо; 18 – бортовые фрикционы; 19 – тормоза

Рабочее оборудование дреноукладчика, предназначенное для прорезания в почве щели по заданному уклону дна и укладки пластмассовых труб, состоит из рычага, коромысла, стяжки, ножа, трубоукладчика, тяги. Рычаг связан с энергетическим модулем шарнирным соединением, которое допускает поворот рычага в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Поворот в горизонтальной плоскости блокируется упорами, в вертикальной – ограничен ходом гидроцилиндров подъема. Рычаг, коромысло и нож соединены шарнирно. Поворот коромысла относительно рычага ограничен ходом гидроцилиндров, а ножа относительно коромысла – стяжками. Рычаг, коромысло, нож и тяга – это силовые сварные конструкции коробчатого сечения. Трубоукладчик шарнирно соединен с ножом тягой. Поворот трубоукладчика относительно ножа ограничен ходом гидроцилиндра трубоукладчика. В транспортном положении трубоукладчик плотно прижат к ножу. Он сварной конструкции коробчатого сечения с дном в виде опорной лыжи. В верхней части его размещена площадка с перилами. Сзади трубоукладчика приварена лестница для подъема на площадку. В середине трубоукладчика закрепленный спускаемый лоток из прутков для направления пластмассовой дренажной трубы. Снизу установлен прижимной ролик.

В рабочее оборудование дреноукладчика входит также барабан (катушка) для пластмассовых труб и дернорез (рис. 30.27). Барабан может быть установлен в двух положениях: рабочем и транспортном. Дернорез предназначен для прорезывания дернины перед ножом трубоукладчика на глубину до 300 мм, представляет собой дисковый нож, закрепленный на рычаге гидроцилиндром.

Гидросистема дреноукладчика составлена из двух гидросистем, одна из них – гидросистема трактора К-701, она обеспечивает работу механизмов энергетического модуля (управление поворотом и натягивания гусениц), вторая – работу навесного технологического модуля (перевод трубоукладчика, барабана и дернореза в рабочее и транспортное положение). Дополнительно устанавливаются

ся гидроцилиндры натяжения гусеничных лент и запорные клапаны к ним. От трактора К-701 в гидросистеме использованы: бак, насосы, распределитель, фильтр, рулевое устройство, масляный радиатор, клапан руля, гидроцилиндры.

Распределителями осуществляется: изменение высотного положения рабочего органа и поворота в вертикальной плоскости; изменяется положение катушки и выбирается положение дискового дернореза. Распределители – двухпозиционные с ручным управлением и фиксацией – служат для перехода в режиме автоматического управления с работы «от дна» на работу «от базы» и обратно. Распределители с электрогидравлическим управлением служат для управления высотным положением рабочего органа в автоматическом режиме.

Кротодренажная машина (рис. 30.28) предназначена для прокладки кротовых дрен в торфяных почвах на глубину 0,7...1,5 м с целью осушения, а также в минеральных почвах на глубину 0,5...0,85 м с целью осушения и аэрации. Машина навешивается на стандартную навесную систему трактора по трехточечной схеме (средняя тяга механизма навески демонтируется). Основными частями машины являются: рама, сменные рабочие органы, транспортная цепь, указатель глубины, блокировка дренаера и гидросистема.

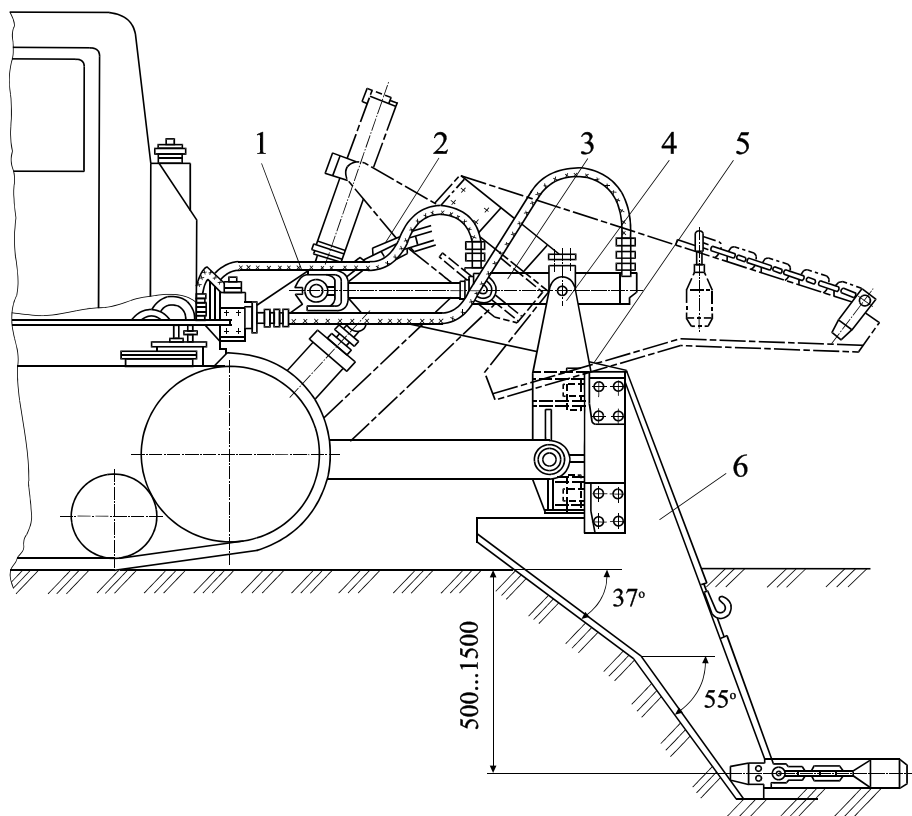


Рис. 30.28. Конструкция кротодренажной машины:

1 – указатель глубины; 2 – транспортная цепь; 3 – гидросистема; 4 – рама; 5 – блокировка дренаера; 6 – сменные рабочие органы

На раме кротодренажной машины монтируют сменные рабочие органы и гидроцилиндр подъема рабочего органа. Она состоит из скелета и поворотной рамки (рис. 30.29). Костяк рамы – сварная конструкция, которая состоит из двух стоек, соединенных полой балкой и четырьмя горизонтальными планками с отверстиями, служащих ушками для пальцев-шарниров, соединяющих раму с рабочим органом. К балке приварены цапфы, с помощью которых рама навешивается на нижние тяги навесной системы трактора. Для обеспечения достаточной жесткости скелета рамы стойки снаружи имеют ребра жесткости. Поворотная рамка выполнена из фасонного проката и крепится в верхней части скелета рамы с помощью двух пальцев-шарниров, а с помощью двух пальцев-шарниров в поворотной рамке крепится гидроцилиндр поворота рабочего органа. Благодаря этому она может перемещаться в двух взаимоперпендикулярных плоскостях, чем обеспечиваются нормальные условия работы гидроцилиндра поворота рабочего органа.

Сменные рабочие органы предназначены для нарезки кротовых дрен в торфяных и минеральных почвах. Каждый такой рабочий орган состоит из ножа, дренаера и гибкой связи.

Гидросистема машины (рис. 30.30) предназначена для подъема и опускания рабочего органа (для перевода машины из транспортного положения в рабочее, и наоборот) для соблюдения заданно-

го проектного уклона дрены, а также для поворота рабочего органа в вертикальной плоскости. Она состоит из распределителя, распределительного крана, предохранительного клапана, гидроцилиндра поворота рабочего органа, гидроцилиндров ленивцев, гидроцилиндра навесной системы, дросселя с регулятором потока рабочей жидкости, насоса, масляного бачка емкостью 24 дм³ и фильтра для очистки рабочей жидкости.

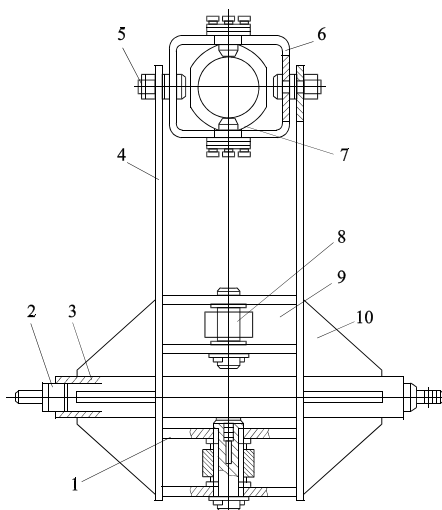


Рис. 30.29. Конструкция рамы:

1 – планка; 2 – цапфа; 3 – балка; 4 – стойка; 5, 7, 8 – пальцы; 6 – возвратная рамка; 9 – костьяк; 10 – ребро жесткости

В отличие от гидросистемы трактора гидросистема кротодренажной машины дополнительно имеет распределительный кран, предохранительный клапан с переливным золотником, гидроцилиндр поворота рабочего органа и дроссель с регулятором (рис. 30.30).

Управление рабочим органом машины осуществляется распределителем и распределительным краном. Левый золотник А распределителя руководит работой гидроцилиндра, позволяет удерживать заданный уклон дрены. Правый золотник В служит для углубления ножа рабочего органа на заданную глубину и его подъема гидроцилиндром. Средний золотник Б обеспечивает быстрый возврат ножа рабочего органа в исходное положение, а также управление работой гидроцилиндров направляющих колес (ленивцев).

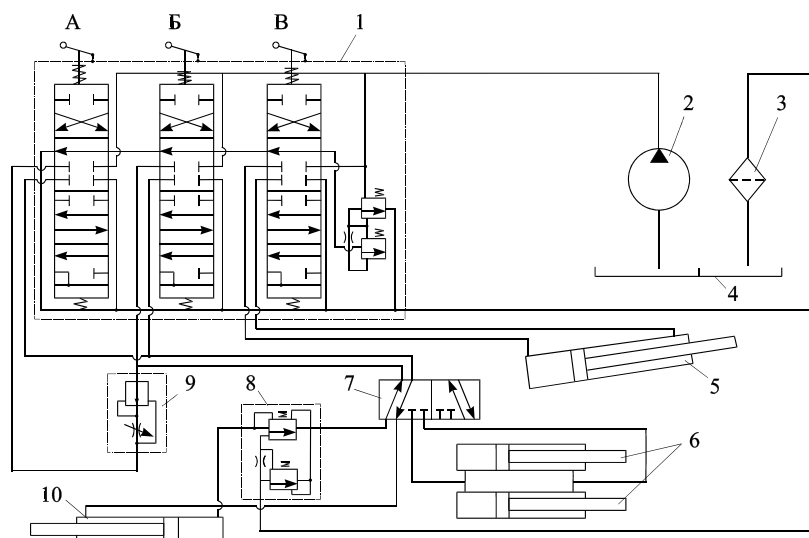


Рис. 30.30. Гидросистема кротодренажной машины:

А, Б, В – золотники распределителя; 1 – распределитель; 2 – насос НШ-46В; 3 – фильтр; 4 – масляный бачок; 5 – гидроцилиндр ЦС-110; 6 – гидроцилиндры ленивцев; 7 – распределительный кран; 8 – предохранительный клапан Г52-17; 9 – дроссель с регулятором Г-55-31В; 10 – гидроцилиндр поворота рабочего органа (ДЦ = 100 мм, Sшт = 480 мм)

Распределительный кран позволяет поочередно работать цилиндрам от одного золотника Б. При прокладке дрены золотник А должен находиться в положении «плавающее», золотники Б и В – в

положении «нейтральное». Под действием сил, действующих на нож, в безштоковой полости гидроцилиндра возникает сжатие рабочей жидкости, которая через клапан и дроссель поступает в распределитель (золотник А), а далее через кран снова в гидроцилиндр (в штоковой полости). Шток гидроцилиндра перемещается, постепенно поднимая рабочий орган во время хода трактора, чем и достигается уклон дрены. Указатель глубины предназначен для контроля наклона дрены.

Кротодренажная машина МД-9 агрегируется на тракторе Т-130БГ-3. При прокладке кротового дренажа в минеральных почвах машина оборудуется одним ножом и одним дреномером, а при кротировании торфяных почв на машине устанавливаются два ножа, два дреномера и одновременно прокладываются две дрены. Техничко-эксплуатационные показатели основных кротодренажных машин приведены в таблице 30.7.

Таблица 30.7

Техничко-эксплуатационные показатели кротодренажных машин

Показатель	Марка машины		
	МД-1	МД-9	РК-1,2
Производительность, м/ч	1200...1500	2400...2900	2000...2200
Количество кротовых дрен, шт.	1	2	1
Диаметр дрены, мм	200, 250	80, 100, 200, 250	90, 200
Глубина устройства дрены, м	0,7...1,5	0,5...1,5	1,2...1,35
Среднее давление движителей на почву, МПа	0,035	0,040	0,038
Дорожный просвет, мм	326	320	250
Количество сменных рабочих органов-дреномеров	2	4	2
Тип: - рабочего органа - агрегатированной машины	Пассивный нож Навесная	Пассивный нож Навесная	Пассивный лемех Навесная
Марка базового трактора	ДТ-75Б	Т-130БГ-3	Т-130БГ-3, Т-130Г-1
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:			
- длина	6200	7450	7360
- ширина	2240	3210	3210
- высота	2300	3067	2960
Масса с трактором, кг	8030	18100...19520	18080
Масса навесного оборудования, кг	630	1270...1700	1250

Анализ отечественных и зарубежных конструкций бестраншейных составителей показал, что в практике строительства подземных коммуникаций применяют более 60 моделей машин с различными землеройными рабочими органами (ЗРО) по форме рабочей поверхности, которые по-разному влияют на грунтовую среду.

30.5.3.2. Основные принципы создания конструкций многоярусных укладчиков. Снижение энергоемкости многоярусного разрушения основывается на том положении, что каждый ярус рабочего органа осуществляет разработку грунта только в докритической зоне, а наиболее энергоемкая критическая зона уплотнения отсутствует. Поэтому нормальное давление грунта на рабочую поверхность многоярусного рабочего органа, а также энергоемкость процесса при оптимальном количестве ярусов меньше, чем для традиционных ЗРО (рис. 30.31). К тому же рабочий процесс одновременно осуществляется на разных уровнях углубления и в разных условиях, поэтому частота и амплитуда колебаний динамических нагрузок на грунторазрабатывающих органах будут равны, что приводит к выравниванию сопротивления перемещению, а это, в свою очередь, обеспечивает плавность хода и повышает качество ложа под дренажную трубку или любой иной ЛПО (линейно-протяженный объект).

Однако известные принципы создания многоярусных процессов разрушения не соответствуют агротехническим требованиям строительства ЛПО в сельском хозяйстве, а потому не могут быть использованы для обоснованного целенаправленного проектирования почвозащитных и энергосберегающих рабочих процессов землеройных машин. В связи с этим кафедрой строительных, дорожных, мелиоративных машин и оборудования НУВХП (г. Ровно) разработаны новые принципы их создания.

Суть их основывается на следующих положениях:

1. Дробление режущего инструмента на грунторазрабатывающие органы и размещение их в пространстве должно проводиться таким образом, чтобы каждый предыдущий орган создавал наиболее благоприятные условия разработки грунта для каждого следующего органа (принцип независимости работы предыдущих грунторазрабатывающих органов от последующих).

2. Транспортировка грунта в направлении освобожденного пространства должна осуществляться: а) для безотвальных ЗРО при условии, что расход грунта, который поступает на грунторазрабатывающий орган в нижнем ярусе, не превышает затраты грунта, который проходит через окна в смежном верхнем ярусе (принцип равенства затрат грунта); б) для отвальных ЗРО при условии, что площадь поперечного сечения срезаемого слоя грунта не более площади проходных окон в каждом ярусе (принцип равенства площадей).

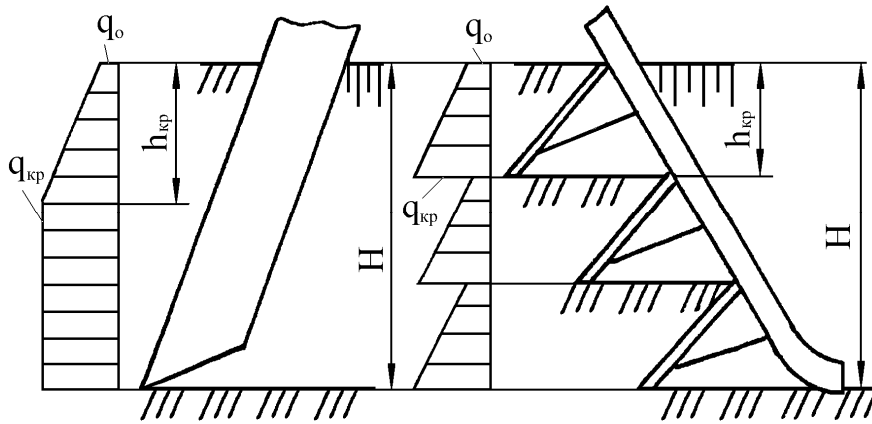


Рис. 30.31. Характерные эпюры распределения нормального давления на лобовую поверхность рабочего органа по глубине:

а – для традиционной конструкции; б – для многоярусной конструкции

В зависимости от целевого назначения и грунтовых условий применения рабочего процесса транспортировка грунта может осуществляться: а) в смежные вышележащие ярусы без вращения пластов во фронтальной плоскости (принцип равенства затрат); б) как поярусное направление срезаемых пластов грунта в полость нарезанной щели с обратным вращением их во фронтальной плоскости (принцип равенства площадей); в) на комбинированном принципе. Опишем более подробно суть этих принципов.

Проблема свободной (с минимальным уплотнением) транспортировки грунта безотвальными рабочими органами решена созданием в пределах ширины захвата между смежными грунторазрабатывающими органами проходных окон для направления грунта в направлении полости, образованной предыдущим грунторазрабатывающим органом. При этом транспортировка грунта может осуществляться плоскими или криволинейными направляющими по принципу равенства расходов почвы. С целью уменьшения сил трения слоев грунта о направляющие и подпрессовки пластов при движении в межъярусном пространстве, а также энергоемкости рабочего процесса последний основывается на принципе независимости работы предыдущих грунторазрабатывающих органов от следующих.

Пример реализации принципов показан на рисунке 30.32. Процесс формирования щели осуществляется грунторазрабатывающими органами, разнесенными по вертикали на величину $h_k = h_z(ctg \alpha_p tg \beta_{TP})^{z-k} \leq h_{kp}$, где: h_k – высота к-го яруса; K – его порядковый номер, считая сверху вниз; h_z , h_{kp} – высота разработки грунта в нижнем ярусе и критическая глубина резания в к-м ярусе как функции физико-механических свойств грунта и геометрических параметров ножа; Z , α_p , β_{TP} – соответственно количество ярусов, углы резки грунторазрабатывающих органов и наклон несущей рамы к горизонту в направлении движения (при равенстве $\alpha_p = \beta_{TP}$ имеем равномерную разность $h_k = h_z$). Такая расстановка грунторазрабатывающих органов на наклоненной в направлении движения раме исключает возможность перекрытия их проекций на горизонтальную и фронтальную плоскости, а тем самым обеспечивает принцип независимости работы предыдущих органов от следующих.

Ширина ярусов B_z , B_{z-1} , B_{z-2} переменная, увеличивается от нижнего яруса к верхнему закономерно. Выбор ширины базируется на принципе равенства расходов грунта, подается из нижнего в смежный верхний ярус. Масса грунта, которая поступает на грунторазрабатывающий орган в единицу времени в нижнем ярусе, равна произведению площади фронтальной проекции трапеции $a_z b_z c_z d_z$ (рис. 30.32, б), которая образуется режущими кромками 2 двух смежных грунторазрабатывающих органов и боковыми стенками щели 6 (площадь поперечного сечения срезаемого слоя почвы), на переносную скорость рабочего органа \mathcal{V} и на естественную плотность грунта ρ . Масса грунта, которая проходит за то же время через проходные окна 5 в смежном верхнем ярусе между режущими кромками 2, несущей рамой 1 и боковыми стенками 6 щели, равна произведению площади $a' e' c' d' + a'' e'' c'' d''$ на относительную скорость грунта \mathcal{V}_c и плотность почвы ρ_c с после разработки в нижнем ярусе.

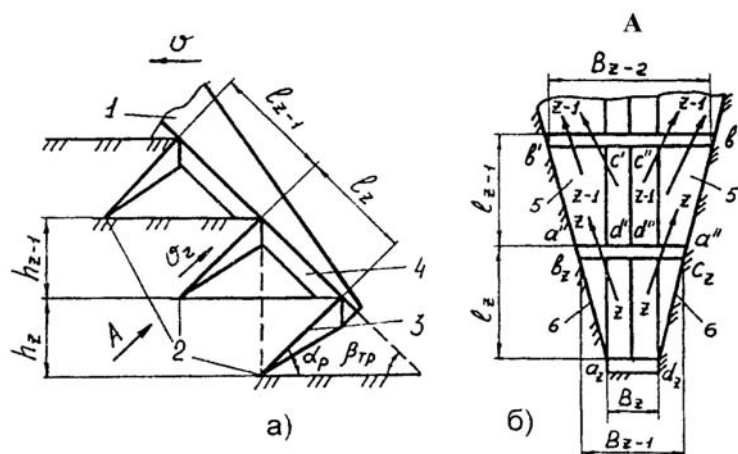


Рис. 30.32. Реализация принципов независимости работы грунторазрабатывающих органов и равенства расходов почвы в смежных ярусах:

а – вид сбоку; б – вид по стрелке А; 1 – несущая рама; 2 – режущие кромки; 3 – направляющие; 4 – клиновидный рассекатель; 5 – проходные окна; 6 – боковые стенки

Учитывая то условие, что ЗРО не должен уплотнять и ухудшать естественную структуру почвы, закономерно принять $\rho = \rho_c$. Таким образом, принцип 2а можно записать в виде:

$$\frac{B_Z + B_{Z-1}}{2} h_Z \vartheta \leq \left(\frac{B_{Z-1} + B_{Z-2}}{2} - B_Z \right) \frac{h_{Z-1}}{\sin \beta_{TP}} \vartheta_r,$$

где h_{Z-1} – высота второго снизу яруса.

Площадь проходных окон регулируется углом наклона несущей рамы к горизонту β_{TP} .

Разрушенный грунт скользит по направляющей 3 нижнего яруса, огибает клиновидный рассекатель 4 и через два проходных окна 5 транспортируется с минимальным уплотнением в верхний смежный ярус, который освобожден от грунта предыдущим грунторазрабатывающим органом. Разработка и транспортировка грунта в следующих верхних ярусах осуществляется аналогично, как в нижнем ярусе.

Реализация принципов при количестве грунторазрабатывающих органов $Z \geq 3$ позволяет проводить поярусную разработку и транспортировку минимальных объемов грунта с минимальным уплотнением и энергозатратами. Впервые появляется возможность управлять поярусной транспортировкой и укладкой грунта в щель, осуществлять его перемешивание и оструктуривание, поскольку за счет наклона рамы разработка грунта верхнего яруса грунторазрабатывающим органом осуществляется ранее всех последующих, и проходит поочередное (сверху вниз) обрушение пластов.

Для тяжелых мелиоративных почв решающее значение имеет максимальное разрыхление и оструктуривание подземных горизонтов в щели, а также установление надежной гидравлической связи между гумусным горизонтом и дренажным устройством. Для таких грунтовых условий в НУВХП впервые разработаны многоярусные рабочие процессы с поярусно управляемой транспортировкой грунта в полость нарезанной щели криволинейными поверхностями (отвалами). Отвалы деформируют срезанные пласты не только в профильной, но и во фронтальной плоскостях, причем с обратным их вращением, что положительно влияет на качество послышной обработки. Рабочие процессы могут сопровождаться разрушением грунта с одной (асимметричные) и двух (симметричные) сторон от несущей рамы ЗРО.

Принципиально решена проблема управляемой поярусной подачи грунта из зоны резки любого яруса в полость нарезанной щели без выемки на дневную поверхность. Эффект обеспечивается образованием в каждом ярусе проходных окон между смежными грунторазрабатывающими органами, несущей рамой и боковыми стенками щели, которая формируется для направления грунта из зоны резания в полость щели. При этом длина окон не может быть меньше ширины почвенного пласта, а ширина – не менее его высоты с учетом увеличения линейных размеров при разработке. Подробнее реализация принципов показана на рисунке 30.33.

Формирование щели основывается на принципе многоярусной резки постоянной шириной захвата (симметричного или асимметричного). Управляемая транспортировка срезанных слоев почвы через проходные окна 5 осуществляется за счет установки криволинейных отвалов. Последние поднимают и возвращают слой почвы на угол $\pi/2$ во фронтальной плоскости, который срезан ножами 1, 2, и направляют в проходные окна 5, которые образованы между смежными грунторазрабатывающими органами шириной B , несущей рамой 4 шириной b и боковыми стенками 6 щели, которая нарезается. Проходные окна имеют ширину $B - b \geq hk_l$ на рис. 30.33, б и рис. 30.33, в и соответственно

длину, где h – высота яруса (расстояние, на которое разнесены грунторазрабатывающие органы по вертикали); $\beta_{ТР}$ – угол наклона несущей рамы к горизонту; $k_{1,2}$ – коэффициенты увеличения линейных размеров почвенного пласта при разработке. При этом площадь одного проходного окна 5 на рис. 30.33, б или двух проходных окон 5 на рис. 30.33, в в каждом ярусе, $F_6 = (B-b)(h/\sin \beta_{ТР})$ равна или больше площади поперечного сечения слоя почвы, который срезается ножами 1, 2. В силу того, что толщина (высота) слоя почвы равна h , то площадь поперечного сечения этого слоя составляет $F_1 = Bhk_1k_2$. Принимая во внимание то, что разрезной нож 1 на рис. 30.33, в размещен на оси симметрии, подрезает ножи 2 и разделяет слой почвы на две равные части или полосы, то площадь поперечного сечения каждого слоя, который направляется в окна 5 на рис. 30.33, равной $F_{1,2} = (B/2)hk_1k_2$. Далее слой почвы обтекает несущую раму 4, возвращается во фронтальной плоскости на угол $\pi/2$ в обратном направлении и заключается в полость щели максимально разрыхленным. Рабочий процесс на рисунке 30.3, в, помимо прочего, характеризуется симметричностью нагрузки по фронту разработки грунта и, как следствие, снижением энергоемкости из-за устранения сил трения на полевой доске в результате уравнивания сил по фронту.

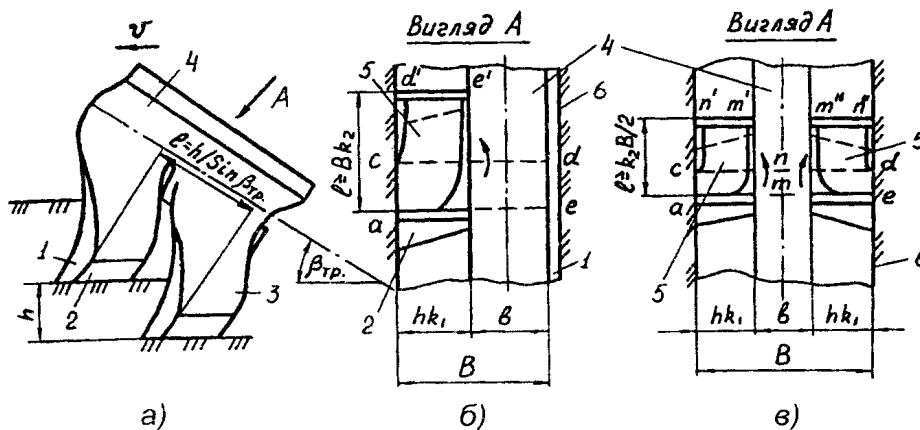


Рис. 30.33. Реализация принципа равенства площадей поперечного сечения срезаемого слоя почвы и проходных окон в каждом ярусе:

а – вид сбоку; б, в – вид по стрелке А соответственно для асимметричного и симметричного разрушения грунта

Такие принципы создания рабочего процесса позволяют проводить качественную поярусную отвальную обработку почвы по глубине и ширине захвата без вынесения неплодородных слоев на дневную поверхность. Это имеет особое значение для улучшения структуры глинистых грунтов пластичной консистенции, не поддающихся качественной обработке безотвальными рабочими органами. Кроме того, постоянная ширина полосы захвата по глубине увеличивает объем грунта, который обрабатывается, усиливает водозахватные и водоаккумулирующие свойства щели. Наклон несущей рамы в плуге позволяет регулировать площадь проходных окон за счет изменения угла $\beta_{ТР}$, способствует перемешиванию и оструктуриванию почвы по глубине потому, что разработка среды в верхнем ярусе проходит предварительно, раньше всех последующих.

В некоторых случаях, например, когда верхний слой почвы засорен твердыми включениями, забивающими многоярусный плуг и их нужно поднять на дневную поверхность, рационально подъемно-транспортную направляющую 1 в верхнем ярусе выполнить плоской, расположенной ортогонально плоскости разрезаемого ножа 2 под углом резки α_p . Под верхним грунторазрабатывающим органом 1 размещены другие грунторазрабатывающие органы 3 отвального или безотвального типа (рис. 30.34). Их принципы создания в третьем (считая сверху вниз) и последующих нижних ярусах аналогичны вышеописанным.

Принцип создания рабочего процесса в верхнем и следующем нижнем ярусах имеет некоторые особенности. Верхний ярус разрабатывается на критическую глубину $h_{кр}$ и транспортируется на дневную поверхность, а нижний – на глубину h с обратным вращением пласта во фронтальной плоскости и транспортировкой его в полость нарезанной щели. С целью свободного прохода срезанного слоя почвы в нижнем ярусе верхней грунторазрабатывающий орган смещен относительно нижнего в направлении движения на величину $S \geq h \left(\frac{Bk_1k_2}{B-b} - 1 \right) \text{ctg} \alpha_p$, и оба смещены по фронту относительно разрезаемого ножа 2 на $(B-b) \geq hk_1$, как это следует из рисунка 30.34, где b и B – соответственно толщина разрезаемого ножа и ширина захвата грунторазрабатывающих органов.

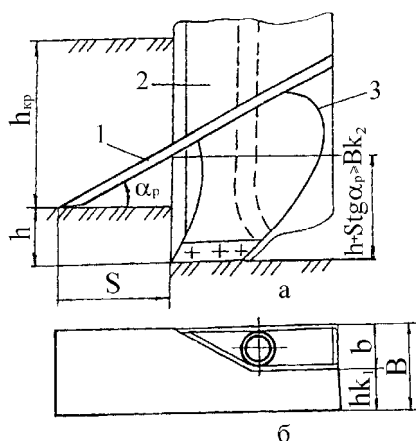


Рис. 30.34. Реализация комбинированного принципа транспортировки грунта:
а – вид сбоку; б – вид сверху

Этот принцип создания конструкций обеспечивает относительно небольшой вылет плуга в направлении его движения так, что появляется возможность разработки верхнего яруса грунта на критическую глубину одним верхним грунторазрабатывающим органом вместо нескольких органов отвального типа. При всех преимуществах исключена возможность отвальной обработки верхнего слоя почвы.

30.5.3.3. Конструкции многоярусных укладчиков и их технико-эксплуатационные показатели. Разработанные конструкции основываются на новых эвристических принципах создания многоярусных рабочих процессов, впервые разработаны на кафедре строительных, дорожных, мелиоративных машин и оборудования Национального университета водного хозяйства и природопользования. Поэтому с уверенностью можно говорить, что конструкции многоярусных составителей, которые представлены на рисунке 30.35, принципиально новые. Принципы их действия и область применения описаны в литературе [15], а технико-эксплуатационные показатели приведены в таблице 30.8.

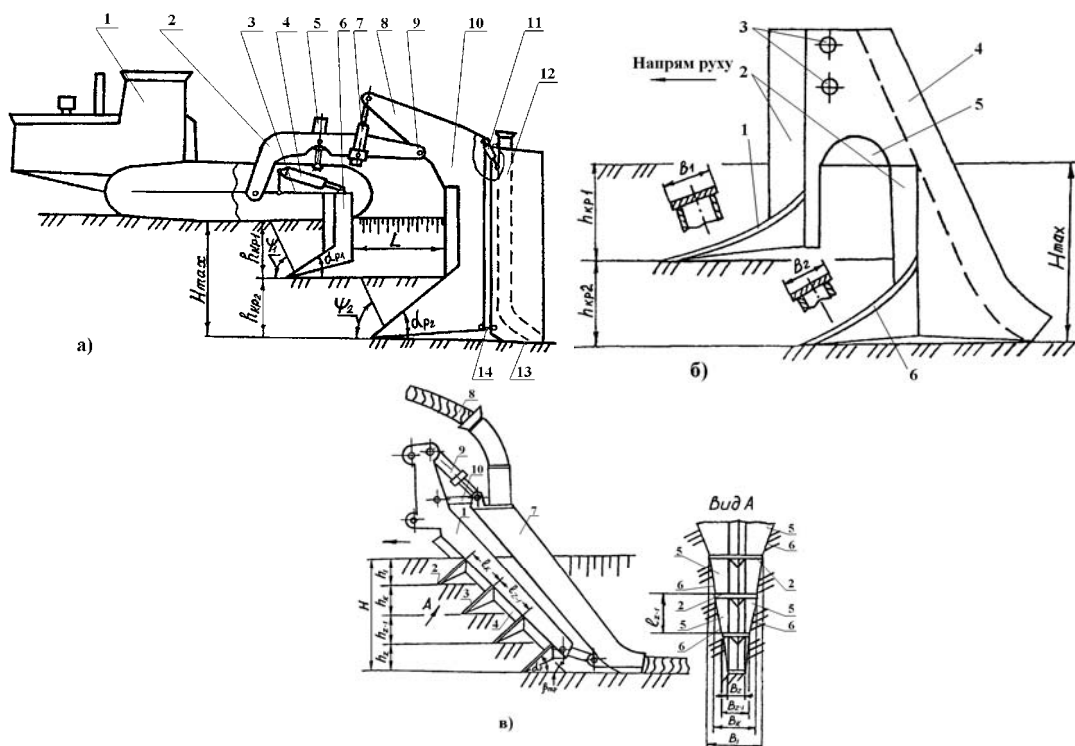


Рис. 30.35. Конструкции многоярусных укладчиков безотвальной конструкции:
а – двухъярусной с автономной системой управления грунторазрабатывающих органов (безотвального дреноукладчика), 1 – тягач; 2 – тяговая рама; 3 – автономная навеска; 4, 5, 7, 11 – гидроцилиндры управления; б – пионерный нож; 8 – коромысло; 9 – шарнир крепления; 10 – основной нож; 12 – трубоукладчик; 13 – опорная лыжа; 14 – тяга; б – двухъярусный с криволинейными режущими частями, 1 – передняя режущая часть; 2 – вертикальные клиновидные рассекатели; 3 – стойка; 4 – материалопроводящий тракт; 5 – проходное окно; 6 – задняя режущая часть; в – с шириной ярусов, которая увеличивается снизу вверх, 1 – несущая рама; 2 – режущие кромки; 3 – грунтонаправляющие; 4 – клиновидный рассекатель; 5 – проходные окна; 6 – боковые стенки щели; 7 – укладчик; 8 – ЛПО; 9 – гидроцилиндр; 10 – тяга

Технико-эксплуатационные параметры многоярусных укладчиков

Технико-эксплуатационные показатели	Укладчик				
	2-ярусный	3-ярусный	4-ярусный	6-ярусный	8-ярусный
Базовая машина	МД-12, (2хТ-130)	К-701, Т-130	К-701, Т-130	МД-12, МД-4/5	МД-12, МД-4/5
Максимальная глубина рыхления, м	1,8 (1,2)	0,75	0,70	1,50	1,40
Ширина полосы разрыхления, м	0,5...0,6	0,45	0,35	0,47	0,35
Глубина укладки ЛПО, м	до 1,8	до 0,75	до 0,70	до 1,50	до 1,40
Максимальный диаметр ЛПО укладываемого, мм	120 (40)	90	90	120	120
Высота ярусов:					
- верхнего, м	0,8 (0,65)	0,250	0,175	0,250	0,175
- нижнего, м	до 1,0 (0,55)	0,250	0,175	0,250	0,175

Установлено, что многоярусная схема разработки грунтов при оптимальных параметрах рабочего органа позволяет снизить удельное и общее сопротивление перемещению ЗРО на 42...48 %, существенно снизить техногенное воздействие на почву (проводить его разрыхление, а не уплотнение), увеличить зону положительного влияния.

Средства механизации для осуществления многоярусных рабочих процессов по строительству гидромелиоративных систем и противоэрозионных гидротехнических сооружений положительно влияют на грунтовую среду, а именно: значительно увеличивают осушительное действие, улучшают водно-воздушный режим активного слоя почвы, увеличивают влагоемкость подземных горизонтов, а потому эффективны не только на тяжелых, но на легких и средних суглинистых почвах. В результате усиленной аэрации и благоприятного водного режима значительно возрастает количество химических элементов, которые усваиваются растениями, повышается активность микробиологических процессов, а также увеличивается развитие корневой системы и урожайность сельскохозяйственных культур.

30.5.4. Машины для очистки трубчатых дрен и дренажных колодцев.

30.5.4.1. Способы очистки дрен. В процессе эксплуатации дренажные линии выходят из строя. Весь комплекс ремонтных и профилактических работ при эксплуатации закрытой сети можно разделить на два основных вида: ремонт поврежденных труб, линий трубопроводов с их полным или частичным раскрытием, включая смотровые колодцы, арматуру и т. д.; очистка полости труб без их полного раскрытия, смотровых колодцев от наносов, растительности и т. д.

Основные операции по ремонту поврежденных труб, линий трубопроводов с их полным или частичным раскрытием и элементов их конструкций, а также средства механизации, которые для этого применяют, мало чем отличаются от аналогичных работ при строительстве закрытой сети.

Очистка дрен без вскрытия может быть: химической, биохимической, гидравлической, механической и гидромеханической.

Химический способ очистки дрен применяют для борьбы с отложениями водонерастворимых соединений железа, алюминия, марганца, извести. Суть этого способа заключается во введении в дренаж реагентов (ингибиторов), которые переводят эти соединения в растворимую форму. Растворенные отложения выносятся водой.

Для предотвращения зарастания дрен корнями древесно-кустарниковых насаждений следует применять промывание их антисептиками. Иногда можно делать только промывание водой.

Биохимический способ заключается в том, что в трубопроводы вводят бактериальные культуры, переводят нерастворимые в воде отложения в водорастворимые.

Гидравлическая очистка дрен от заиливания без раскрытия – это наиболее распространенный способ. Существует две его разновидности: непосредственная промывка и промывка с протаскиванием шланга дренажнопромывной машиной.

Непосредственное промывание выполняют путем подачи воды в устье дрены или через шурф. Это очень простой, надежный, производительный и дешевый способ. Но при этом есть потребность в большом количестве воды и невозможно проверить качество очистки.

При промывке с протаскиванием шланга в полость дрены через устье или смотровой колодец вводят гибкий шланг, на конце его закреплена головка с фронтальным и тыльным соплами. По шлангу подается вода, которая выходит из фронтального сопла с большой скоростью и размывает отложения, а струи воды из тыльных сопел создают реактивное усилие, которое проталкивает шланг с головкой по трубе вперед. Вода и отложения без задержки вытекают из дрены.

Механическая очистка дрен широко распространена. Для очистки применяют барабанные машины с комплектом быстроразъемных гибких стержней (коротких – 10...30 м и длинных – 200...250 м и диаметром 8...32 мм), которые составлены из оцинкованной спиральной пружины с проволокой из того же материала в середине и рабочего инструмента (спирального разрыхлителя, сверла, ерша и др.). Стержни проталкивают по трубе с помощью лебедки или трактора. При механической очистке хорошо разрыхляются любые отложения и препятствия, не нужна вода, машины легкие и подвижные. Однако это очищение эффективно, когда есть дренажный сток, достаточный для выноса разрыхленных отложений или при последующем промывании.

При гидромеханической очистке дренажных труб применяют очистные устройства с гидромеханическим рыхлением отложений, с активной или реактивной тягой шланга и головки и вынесением отложений с дрены с помощью воды.

30.5.4.2. *Дренопромывочные машины.* Для очистки дренажных трубопроводов в зоне осушения применяют машины Д-910А и МР-18 (табл. 30.9).

Дренопромывочная машина МР-18 предназначена для очистки гончарных дрен и дренажных трубопроводов диаметром 50...200 мм от засорения и заиления. Очистка выполняется струей воды под давлением до 2 МПа.

Таблица 30.9

Технические характеристики дренопромывочных машин

Показатель	Д-910А	МР-18
Тип машины	прицепная	
Транспортные средства	тракторы МТЗ-82 або Т-40	тракторы Т-150 або ДТ-75М
Средняя производительность, м/ч	100	150
Диаметр дрен, которые промываются, мм	40...150	40...250
Длина дрены для промывания с одной стоянки, м	150	
Глубина дрены для промывания, м	до 2	
Привод насоса	от ВОМ	
Нагнетательный насос: - марка - расходы, м ³ /ч (дм ³ /мин.) - давление, МПа	УН-41000 или НТП-9А 5 (84) 2	
Откачивающий насос: - марка - расходы, м ³ /ч - давление, МПа	- - -	- - -
Вместимость цистерны для воды, м ³	1,8	
Промывочный шланг: - длина, м - диаметр, мм	120 10	
Габаритные размеры, м - длина (с трактором) - ширина - высота	/3,14/ 1,8 2,34	2,36 1,8 2,34
Масса, кг	535	650

Машина для очистки дрен МР-18 (рис. 30.36) состоит из следующих основных частей: прицепа 1, карданной передачи 2, поршневого насоса 3, капота 4, привода барабана 5, напорного водопровода 6, барабана 7, шлангов нагнетательных 8 и 9, установки тормоза 10 и 12 опоры задней 11, установки крыльев 15, пневмоколес 16, пальца 17 и цистерны 13 (ЗЖВ-1,8) с заборным рукавом 14.

Для соединения прицепа с трактором в передней части его приварено дышло со скобой, а для сцепки их при транспортном перемещении машины в задней части прицепа есть скоба. На осях установлены ступицы с ободами для колес с шинами 6,50x16 (180x406). Для установления прицепа в горизонтальное положение откидывается стояк с фиксатором. Трехплунжерный поршневой насос предназначен для подачи воды из цистерны в дрену под давлением 2 МПа. Такие насосы широко используются в сельском хозяйстве. Подача насоса – 1,416 дм³/с при частоте вращения ВОМ трактора 9 с-1. Привод насоса осуществляется карданной передачей от ВОМ трактора. Барабан предназначен для намотки и размотки шлангов, а также подачи воды в них от насоса. Барабан сварной из труб диаметром 25 мм имеет два отделения для нагнетательных полиэтиленовых шлангов двух типоразмеров. Ось барабана вращается в подшипниковых опорах. Самовольное вращение барабана предотвращает-

ся ленточным тормозом. В опоре есть резиновые уплотнения для изоляции опоры от воды. На оси барабана установлен трехходовой кран для регулирования направления потока воды в напорные шланги, а также предохранительный клапан.

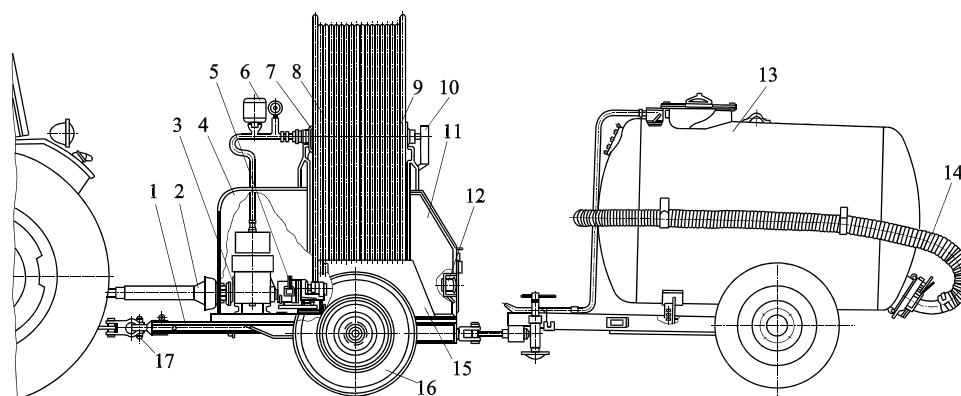


Рис. 30.36. Дренопромывочная машина МР-18:

1 – прицеп; 2 – карданная передача; 3 – насос; 4 – капот; 5 – привод барабана; 6 – напорный трубопровод; 7 – барабан; 8, 9 – шланги; 10, 12 – установка тормоза; 11 – опора задняя; 13 – цистерна; 14 – заборный рукав; 15 – крылья; 16 – пневмоколеса; 17 – палец

Привод барабана состоит из основы привода и корпуса с гидромотором и приводным роликом. Основа привода связана с корпусом с помощью оси, вокруг которой поворачивается корпус и прижимает ролик 4 до обода барабана или отталкивает его, включая или исключая вращение барабана при намотке шланга. Прижим ролика к ободу барабана осуществляется рычагом, на конце которого закреплен груз для создания необходимого усилия прижатия ролика к ободу. Вал с роликом установлен в корпусе на двух подшипниках и соединен с валом гидромотора через кулачковую муфту. Скорость вращения барабана и подачи масла тракторного насоса регулируются за счет изменения частоты вращения коленчатого вала тракторного двигателя.

Напорные шланги (полиэтиленовые, с внешним диаметром 20 и 26 мм и длиной 100 и 120 м) рассчитаны на давление 2,5 МПа. Шланги одним концом соединены с трубой барабана и пропускным краном, а второй конец их свободный и обеспечен штуцером для навинчивания насадок, различных по расходам воды. Конструкция штуцера обеспечивает также возможность пропускания металлического провода в полость шланга, что необходимо для работы прибора в целях обнаружения неисправности дрен. Намотка шлангов на барабан осуществляется с помощью гидромотора.

30.6. Машины для культуртехнических работ

30.6.1. Современные технологические процессы очистки земель от древесно-кустарниковой растительности. Культуртехнические работы выполняют при освоении новых земель под сельскохозяйственные угодья. Они делятся на подготовительные работы и первичную обработку почвы. К подготовительным работам относится очистка земель от древесно-кустарниковой растительности: корчевание кустарников, деревьев и больших камней; уничтожение кустарников глубоким фрезерованием или припахиванием; удаление мелких камней и корневых остатков; вывоз выкорчеванных пней, камней и древесно-кустарниковой растительности.

В настоящее время расчистку земель от кустарников и мелколесья проводят несколькими способами:

- раздельное удаление надземной части древесной растительности и корневой системы;
- удаление древесно-кустарниковой растительности вместе с корнями (в основном на почвах с камнями);
- фрезерование кустарников и пней вместе с грунтом.

Раздельная технология включает предварительные вырубki и трелевку больших деревьев (машинами ЛП-17, ЛП-49), срезание кустарников и мелколесья кусторезами (ГП-24, МП-14, МП-18, МП-19, МТП-13А, КФМ-2, 8) или бульдозерами в зимний период, сгребание срезанной древесной массы в валы и кучи кустарниковыми граблями или корчевателями-собирающими (МП-2Б, ГП-6А, МП-7А, МП-18, МП-19), выкорчевывание пней корчевальными боронами (МП 13, МП-18), корчевателями (МП-2Б, ГП-25, МП-18, МП-19, ЛД-9 и др.), перетряски, сгребание (теми же корчеватель) и сжигание. Срезание и сгребание кустарников и мелколесья в зимний период при освоении лесистых земель обеспечивает повышение производительности труда на 15...20% и исключает сезонность в

проведении работ. Корчевание пней проводят в летний период, сгребание выкорчеванных пней и корней – через 7...15 дней после выкорчевывания.

Технологию удаления древесно-кустарниковой растительности вместе с корнями разделяют на два способа:

- запахивание под пласт с последующей обработкой и прикаткой пласта;
- корчевание с последующим перетряхиванием и сжиганием выкорчеванной древесной массы.

Запахивать кустарник целесообразно на площадях, которые не нуждаются в планировочных работах, при отсутствии большого количества крупных пеньков, погребенной древесины при толщине гумусового или торфяного слоя не менее 20 см. Запашку кустарника выполняют лемеховыми кустарниково-болотными плугами (ПБН-75, ПБН 100, ПБН-3-45, ПБН-3-50), прикатывание – катком (ЗКВН-1,5).

Большую древесно-кустарниковую растительность удаляют с помощью различного корчевального оборудования и специальных машин, указанных выше. Выкорчеванную древесную массу после подсушивания и перетряски сгребают в валы или кучи и сжигают.

Технологический процесс фрезерования кустарника включает в свой состав измельчение поверхностной и погребенной древесины, дерна, кочек и перемешивания их с почвой на всей глубине обработки. При наличии густого кустарника и мелколесья, большого количества погребенной древесины целесообразно использовать предварительное срезание и сгребание наземной части древесной растительности в зимний период.

Фрезерование выполняют фрезерными машинами (МТП-42А, МТП-44А, МТП-48Б) преимущественно на торфяных землях.

Глубокое фрезерование почвы сводит весь многооперационный технологический процесс освоения земель практически к одной операции. Вместе с тем фрезерные машины не могут работать на каменистых землях, участках со сложным рельефом, на мелколесье, где диаметр стволов у корневой шейки превышает 12...15 см.

30.6.2. Машины для очистки земель от древесно-кустарниковой растительности. Машины для срезания кустарников (кусторезы). Кусторезы срезают стволы диаметром от 0,03 до 0,2 м, обеспечивая как можно более низкую высоту срезания стволов (желательно у самой земли с удалением корневой шейки). Они должны минимально разрушать дерн, удалять небольшие пеньки, кочки, быть достаточно проходными на участках с неровным рельефом, на переувлажненных почвах, иметь достаточную боковую устойчивость.

Различают кусторезы с пассивными и активными рабочими органами.

Кусторезы пассивного действия, как правило, имеют рабочие органы в виде горизонтальных ножей или ножевого барабана. Наиболее распространенными являются кусторезы с горизонтальными ножами. Рабочий орган такого кустореза – двусторонний клин с плоскими горизонтальными ножами, установленными под углом 60...65 ° к направлению движения. Ножи имеют равный или волнообразный режущий край (рис. 30.37, а). Во время движения трактора с навешенным кусторезом ножи врезаются в ствол дерева у корневой шейки и срезают его, а отвал и ограждения отодвигают срезанную массу. Кусторез оборудован односторонним отвалом (рис. 30.37, б), отодвигает срезанную кустарниковую растительность по одну сторону от машины. В последнее время для удаления мелкого кустарника вместе с корнями используют кусторезы-корнерезы (рис. 30.37, в).

Из кусторезов активного действия наибольшее применение получили машины с дисковым рабочим органом (рис. 30.37, г), установленным на оси, которая вращается. Во время работы кустореза одновременно с поступательным движением трактора режущие диски принудительно вращаются, вследствие чего происходит резка. Привод таких рабочих органов осуществляется от вала отбора мощности трактора.

Кусторез ГП-24 предназначен для расчистки площадей, заросших кустарником и подлеском. Кусторез навесной на тракторе Т-130Г-І состоит из рабочего органа (рис. 30.38), ограждения трактора, толкающей рамы, сферической головки и привода шлифовальной машины.

В состав рабочего органа (рис. 30.39) входят: отвал, нож и амортизаторы. На поперечные балки рамы приварено гнездо, к которому двумя крышками крепится шаровая часть переменной головки. В передней части отвала приварен носовой лист для раскалывания пней и отодвигания сваленных деревьев.

Сверху на раме установлена отвальная поверхность для смещения срезанных стволов в валки. Амортизаторы смягчают удары отвала в толкающую раму. Рабочий орган соединен с толкающей рамой литой переменной головкой, которая надевается на шаровую головку рамы и крепится к ней пальцами и ушками.

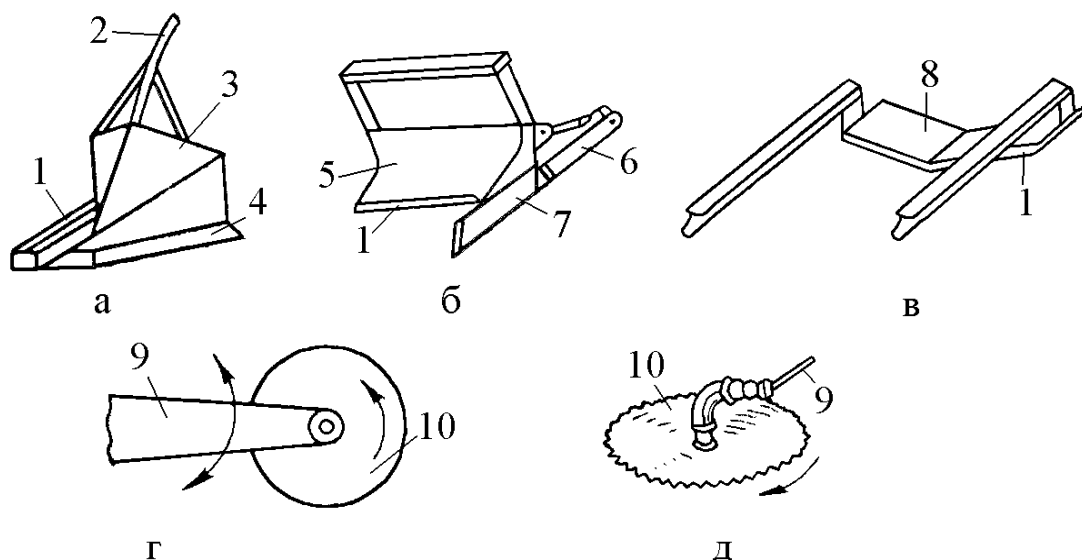


Рис. 30.37. Типы рабочих органов кусторезов:

а, б – пассивные; в – кусторез-корнерез пассивный; г, д – активные дискового типа; 1 – передний клин-колон; 2 – ограждения; 3 – двусторонний клин; 4 – нижние ножи; 5 – односторонний отвал; 6 – толкающая рама; 7 – колон; 8 – П-образный отвал; 9 – рама крепления и поворота рабочего органа; 10 – режущий диск

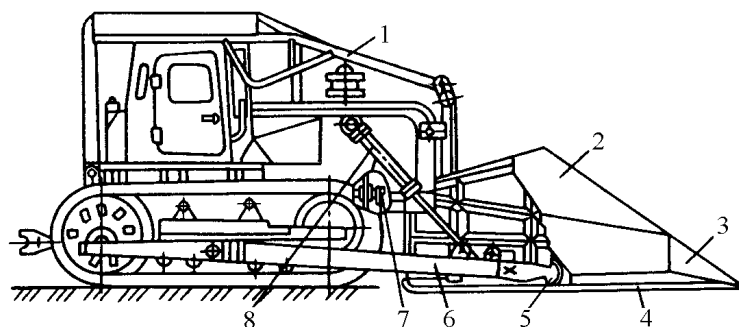


Рис. 30.38. Кусторез ДП-24:

1 – ограждение трактора; 2 – рабочий орган; 3 – лист; 4 – ножи; 5 – шаровая головка; 6 – толкающая универсальная рама; 7 – привод шлифовальной машины; 8 – гидроцилиндры

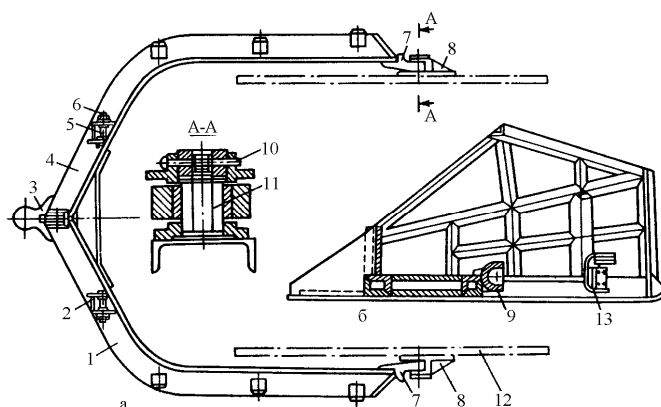


Рис. 30.39. Универсальная рама (а) и отвал (б):

1, 4 – полурамы; 2, 7 – ушки; 3 – шаровая головка; 5 – палец; 6 – корончатая гайка; 8 – упор; 9 – шаровое гнездо; 10 – шпилька; 11 – ось; 12 – рама гусеничной тележки; 13 – амортизаторы

Шлифовальная машина (рис. 30.40) предназначена для заточки ножей кустореза. Она состоит из шлифовальной головки и гибкого вала. Управляют кусторезом с помощью гидравлической системы трактора через рычаг распределителя, который обеспечивает четыре рабочих положения отвала: подъем, опускание, нейтральное и плавающее.

Перед началом работы нужно опустить рабочий орган на землю и установить рычаг распределителя в плавающее положение. При срезке кустарника рабочий орган должен скользить по земле и копировать профиль поверхности. Работать рекомендуется на II и III передачах трактора в зависимости от условий работы.

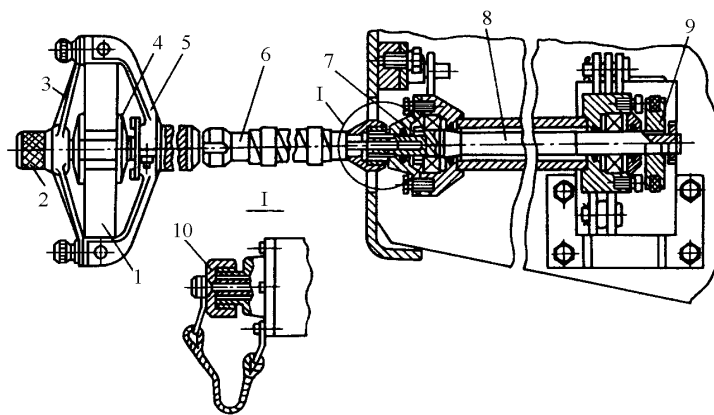


Рис. 30.40. Шлифовальная машина С-475Б с приводом от базовой машины:

1 – шлифовальный круг; 2 – рукоятка; 3 – корпус; 4, 7 – фланцы; 5 – защитный кожух; 6 – гибкий вал; 8 – привод; 9 – шкив; 10 – заглушка

Для заточки ножей отвал кустореза нужно поднять в транспортное положение, зафиксировать и выключить двигатель. Затем пропустить гибкий вал под отвалом, один конец его присоединить к фланцу привода, а второй – к шлифовальной головке. Надеть клиновой пас на шкив привода и на шкив вентилятора двигателя. Запустить двигатель. При этом шлифовальная головка должна касаться кожухом земли. При заточке ножей следует держать шлифовальную головку так, чтобы плоскость шлифовального круга была перпендикулярна заточному кругу. Ножи рекомендуется заострять абразивными кругами из электрокорунда или корунда на керамической основе зернистостью 24...46.

Кусторез МП-14 состоит из базового трактора модели Т-130МБГ-И, рабочего органа, толкающих брусков с талрепами, универсальной рамы, раскосов, ограждения и шлифовального устройства; рабочий орган – из косого отвала, расширителей, ножевого устройства, регулирующих стяжек и деталей крепления. Шарнирное соединение ножевого устройства с отвалом позволяет регулировать угол резки с помощью винтовых стяжек.

Толкающий брус представляет собой сваренный из труб каркас, состоящий из верхней и нижней перекладин, соединенных стойками и раскосами. В нижней части каркаса приварены проушины для крепления талрепов. Талреп состоит из винта с ушком, трубы с внутренней трапециевидной резьбой и второго ушка, которое свободно возвращается в этой трубе. Талрепы обеспечивают надежное крепление толкающего бруса на отвале и регулирование его вылета относительно режущей кромки кусторезного ножевого устройства. Раскосы обеспечивают установку отвала кустореза в плане под углом 30° в любую сторону.

Конструкция универсальной рамы и шлифовального устройства кустореза МП-14 аналогичны названным устройствам кустореза ДП-24. Управление рабочим органом в процессе срезания растительности осуществляется гидроцилиндрами.

Недостатки кусторезов пассивного действия: недостаточная проходимость, большие тяговые усилия при срезании растительности пассивным ножом, срез значительной части почвенного покрова и неполное срезание тонких и гибких стволов диаметром 3...4 см – в значительной степени ликвидируются при выполнении работ в зимний период, когда замерзший грунт имеет высокую несущую способность, а растительность более хрупкая и легко ломается. При этом толщина снега не должна превышать 20...40 см, поскольку в противном случае невозможно проводить необходимое срезание стволов, поэтому остаются слишком высокие пни. Кусторезы с активными рабочими органами в практике гидромелиоративного строительства используют мало, но они имеют меньший удельный расход мощности на единицу расчищенной площади, не оставляют несрезанных растений, не нарушают плодородный слой почвы, менее металлоемкие, однако у них сложнее конструкция.

Машина для сведения леса и мелколесья МТП-13 (рис. 30.41) предназначена для срезания и пакетирования кустарника и мелколесья при подготовке торфяных массивов. Машина состоит из торфяного гидравлического экскаватора МТП-71 (30-4221), смонтированного на нем оборудования для сведения леса, пакетирующего оборудования и дополнительного гидрооборудования.

Оборудование для сведения древесины состоит из стрелы с поворотным составителем и рабочего органа – дисковой фрезы с приводом от гидродвигателя через одноступенчатый цилиндрический редуктор. При работе на нем поднимают и опускают стрелу, наклоняют укладыватель и возвращают клыки гидроцилиндрами. Пакетирующее устройство состоит из шарнирно соединенных рычагов, установленных на гусеничной балке перпендикулярно продольной оси машины. В нем накапливается срезанная древесина, формируется в пакеты, которые оставляют на земле.

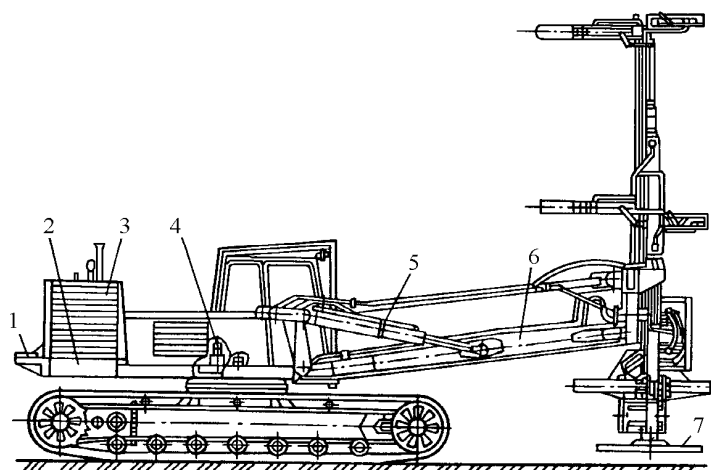


Рис. 30.41. Машина для сведения леса МТП-13:

а – общий вид сбоку: 1 – противовес; 2 – поворотная платформа; 3 – двигатель; 4 – механизм поворота; 5 – гидроцилиндры; 6 – стрела; 7 – дисковая фреза

Технические характеристики упомянутых кусторезов приведены в таблице 30.10.

Таблица 30.10

Технические характеристики кусторезов

Показатель	ДП-24	МП-14	МТП-13А, МТП-71
Базовый трактор	Т-130.ІГ-І	Т-130МБГ-1	
Мощность двигателя, кВт	117,76	103,0	95,6
Ширина захвата рабочего органа, м	3,6	4,6	13
Угол установки ножей в плане, град	64	30	-
Производительность за час чистой работы, га	1,1...1,4	1,4...1,7	0,14
Максимальный диаметр стволов деревьев, срезаются, м	0,1	0,1	0,25
Рабочая скорость, км / ч	3,17...3,77	3,17...3,77	-
Габаритные размеры, мм:			
длина	7600	8000	9750
ширина	3600	4600	7050
высота	3250	3120	3280

30.6.3. Машины для корчевания пней и камней. Корчевальные машины предназначены для корчевания пней и кустарников на старых и свежих вырубках при расчистке площадей для сельскохозяйственного использования и погрузки отдельно камней и деревьев.

Очистка земельных участков от пеньков, деревьев и камней является одним из наиболее трудоемких процессов при освоении земель. Сопротивление пеньков корчеванию зависит от многих факторов: породы деревьев, глубины залегания и разветвленности корней, влажности почвы, давности рубки, способа корчевания и направления приложенного к пеньку усилия. Так, при корчевании пеньков в горизонтальном направлении нужны усилия, на 60...70 % меньше по сравнению с вертикальным вытягиванием, что объясняется неодновременностью обрыва корней при действии горизонтальной силы. Сопротивление корчеванию свежих пеньков в 2...2,5 раза больше по сравнению с пнями трех-четырёхлетней давности.

В зависимости от диаметра пеньков, породы дерева, возраста, густоты насаждения, способа корчевания, грунтовых условий для корчевания применяют различные корчевальные машины, которые классифицируются:

- по типу рабочего органа – активные и пассивные;
- способу корчевания – зубовые (рычажные, крюковые) с комбинированным вертикально-горизонтальным движением рабочего органа с гидроповоротным рабочим органом и виброкорчеватели;
- типу агрегатирования рабочего оборудования с трактором – с передней навеской, задней и прицепные;
- типу управления – с канатной и гидравлической системами управления.

Корчеватели, корчеватели-сборщики и корчевальными агрегаты пассивного действия благодаря простоте конструкции широко применяют в мелиорации. Корчеватели (табл. 30.11) предназначены для корчевания пней, крупных камней, кустарников, отдельных деревьев и перемещения их на небольшие расстояния. На рабочем органе имеется не более четырех зубьев.

Техническая характеристика корчеватель с гидравлическим приводом

Показатель	ДП-25	ДП-9
Ширина захвата, м	1,8	2,8
Наибольший диаметр корчующих пеньков, см	50	130
Количество зубьев (клиньев) отвала, шт.	4; 8	7
Расстояние между зубьями, см	44	35
Базовый трактор:		
- марка	Т-130.1.Г-1	Т-130.1.Г-1
- мощность двигателя, кВт	117,8	117,8
Габаритные размеры, мм:		
- длина	5800	6200
- ширина	3250	3150
- высота	3250	3100
Масса, кг:		
- машины	16100	17280
- сменного оборудования	3600	2500

30.6.4. Фрезерные машины и катки. Фрезерные машины предназначены для первичной обработки фрезерованием минеральных и торфяных почв, заросшие кустарниками и мелколесьем.

Способ фрезерования заключается в том, что древесную растительность измельчают, перемешивают с верхним слоем почвы на глубину до 40 см и укатывают за один проход машины.

Существующие машины для фрезерования кустарников фрезеруют растительность с диаметром ствола до 10...12 см и высотой до 10 м при наличии пеньков и кочек.

Машина для глубокого фрезерования заросших кустарниками земель МТП-44А (рис. 30.42) состоит из рамы с отбойной плитой, передних и задних опорных катков, цилиндрической фрезы, гидравлической системы и трансмиссии. На сварной раме установлены фреза, трансмиссия и гидроцилиндры. Рама имеет ушко для крепления заднего катка и двух гидроцилиндров и гнездо в передней части для крепления шаровой опоры передних катков. К раме с помощью шпилек крепится отбойная плита, предназначенная для удержания древесной растительности при фрезеровании. На поворотной фрезе закреплены тарельчатые ножи. Зазор между кругом отбойной плиты и режущим кругом ножей должен быть 3...5 мм, регулируют его с помощью шпилек. Глубину фрезерования устанавливают сменными отбойными плитами. Фреза насажена на ось, один конец которой закреплен на стенке корпуса редуктора, а второй опирается на кронштейн. Поднимают и опускают фрезу с помощью двух гидроцилиндров.

Двигаясь, машина передним буфер-отвалом пригибает кустарник и древесную растительность, их сминают гусеницы трактора, а затем плотно прижимает к поверхности почвы отбойная плита и фрезерует вместе с верхним слоем почвы на заданную глубину. Измельченная масса откидывается под задний каток и уплотняется.

Относительно оси трактора машина смещена вправо, что позволяет уменьшать ширину необработанных полос у каналов.

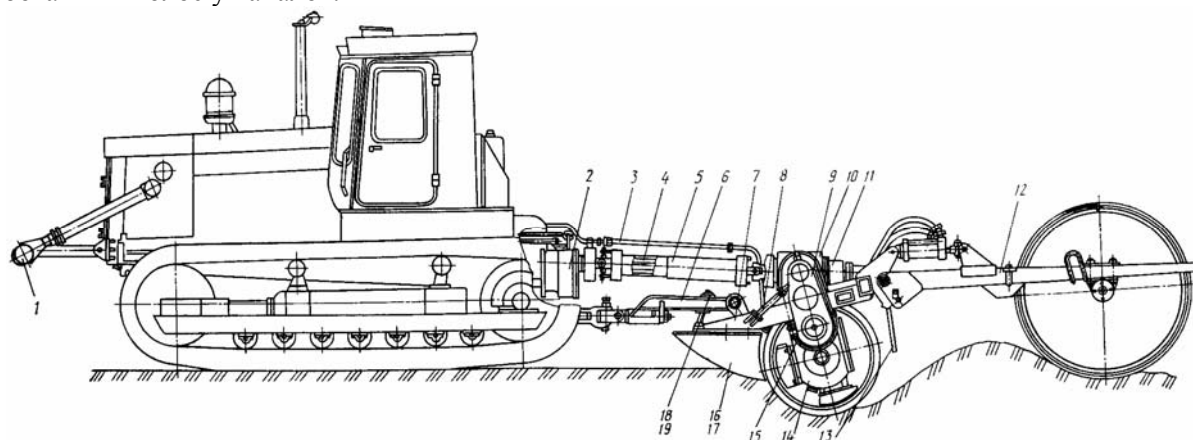


Рис. 30.42. Фрезерная машина МТП-44А:

- 1 – отвал; 2 – ходоуменьшитель; 3 – гидросистема; 4 – карданная передача; 5 – кожух; 6 – дышло; 7 – рама; 8 – демпфер; 9, 10 – бортовой и конический редукторы; 11 – предохранительная муфта; 12 – опора задняя; 13 – сепарирующая гребенка; 14 – фреза; 15 – защитное устройство; 16, 17 – низкая и высокая отбойная плиты; 18, 19 – тяга

Повышение на 12...15 % производительности модернизированной машины достигнуто в результате снижения энергоемкости фрезерования.

Доработка конструкции и повышение надежности работы демпфера и узла соединения дышла с отбойной плитой, а также усиления рамы в месте крепления рабочего органа и отбойной плиты позволили повысить надежность машины, за счет конструктивных изменений уменьшить ее общую массу.

Агрегатируется машина с трактором Т-170Б.

Принцип работы машины МТП-44Б аналогичен работе машины МТП-44А.

Фрезерная машина МТП-45 состоит из основной рамы, на которой установлены автономный двигатель и трансмиссия на привод фрезы, цилиндрической фрезы, заднего опорного катка и устройства для соединения с тягачом. Техническая характеристика фрезерных машин приведена в таблице 30.12. Участок, на котором работает фрезерная машина, не должен иметь каменистых включений и неубранной древесины больших размеров. Для работы машины гидроцилиндрами опускают раму с фрезерным вращающимся барабаном и включают одну из передач ходоуменьшителя трактора. Во время работы следует соблюдать прямолинейность движения и перекрытия (до 0,1 м) двух соседних проходов. Если фрезерный барабан попадает на пенек, который нельзя измельчить сразу, надо остановить агрегат и, когда фреза снова достигнет нормальной частоты вращения, продолжить работу.

Таблица 30.12

Технические характеристики машин для фрезерования закущованных земель

Показатель	МТП-42А	МТП-44А	МТП-45
Тип машин	Прицепная	Полуприцепная	
Базовый трактор	Т-130БГ-1		
Привод рабочего органа	Механический от ВОМ базового трактора		Механический от автономного двигателя
Производительность за смену, га	0,3...0,5	0,24	при глубине фрезерования 0,25 м – 2...3; 0,4 м – 1,2...1,5
Максимальный диаметр древесины, м	0,25; 0,12	0,12	0,2
Глубина обработки почвы, м	0,25; 0,4	0,25; 0,4	0,25; 0,3
Ширина захвата, м	1,7	1,7	2,3
Диаметр фрезы по краю ножей, м	0,838	1,2	1,2
Окружная скорость резания, м/с	8,06	7,75; 12,0	8,0; 14,0
Количество режущих элементов на фрезе	96	120	192
Масса фрезы, кг	5430	6300	18000

Для работы на территориях, покрытых лесокустарниковой растительностью и загрязненных в результате аварий на АЭС, разливов органических и неорганических жидкостей, с целью возвращения их в активное землепользование предназначена специальная кусторезно-фрезерная машина. Она способна очищать загрязненные территории, заросшие кустарником и маломерным лесом (диаметр стволов до 15 см), имеющие порубочные остатки, лесную подстилку, при общем запасе древесины, включая непогребенную, не больше 50 м³/га.

30.7. Машины и установки для орошения сельскохозяйственных культур

30.7.1. Общие сведения и требования. Посевные площади Полесья находятся в разных почвенно-климатических поясах. В условиях недостаточного увлажнения находится значительная часть сельскохозяйственных угодий Полесья.

Существуют различные способы орошения: дождевание, поверхностное, подпочвенное, капельное и др. Распространенным способом орошения в гумидных зоне является дождевание (90 %), в аридных – поверхностное (80 %), в субаридной зоне дождеванием поливают более 50 % орошаемых земель, остальные – поверхностным. Другие способы орошения применяют на небольших площадях, поскольку они находятся в стадии разработки, испытания и совершенствования. В зависимости от способа орошения используют соответствующую им технологию, технические средства и машины.

В зоне Полесья орошение проводят, главным образом, способом дождевания для увлажнения природных и культурных пастбищ и лугов. Для этого используют широкозахватные колесные дождеватели.

Дождевательные машины, установки и аппараты нужны для увлажнения почвы, растений и приземного слоя воздуха. Кроме того, с помощью дождевательных машин можно вносить растворимые минеральные удобрения вместе с поливной водой и микроудобрения, опрыскивать сельскохозяйственные культуры ядохимикатами, проводить десикацию и дефолиацию. При таком широком их использовании отпадает необходимость в специальных машинах для проведения указанных мероприя-

тий. Многоцелевое назначение дождевальных машин повышает эффективность их использования и ускоряет окупаемость капиталовложений.

Преимущества орошения дождеванием: частые поливы малыми дозами и освежающие – в жаркую погоду; меньшая глубина промокания почвы, что важно при орошении земель с близким залеганием воды и засоленных почв; увлажнение не только почвы, но и приземного слоя воздуха, что уменьшает энергию испарения; замена части оросителей переносными или гибкими трубопроводами и сокращения длины постоянной оросительной сети; отсутствие препятствий для перекрестного возделывания сельскохозяйственных культур.

30.7.2. Колесные дождеватели. Многоопорные колесные дождеватели применяют во всех зонах для полива различных сельскохозяйственных культур, высота которых в период вегетации не превышает 1,5 м (многолетние травы, овощные культуры, луга и др.).

Колесный дождеватель «Волжанка» (рис. 30.43) состоит из двух одинаковых дождевальных крыльев. Работает он позиционно от закрытой стационарной или полустационарной сети. Изменение позиций проводится поочередно при фронтальном передвижении крыльев между позициями за счет энергии двигателя на приводном колесе. Основные части крыла колесного широкозахватного дождевателя – поливочный трубопровод с опорными колесами, дождевальные аппараты с механизмами самоустановки, оборудование присоединения к гидрантам закрытой сети, приводная тележка с двигателем и передаточным механизмом.

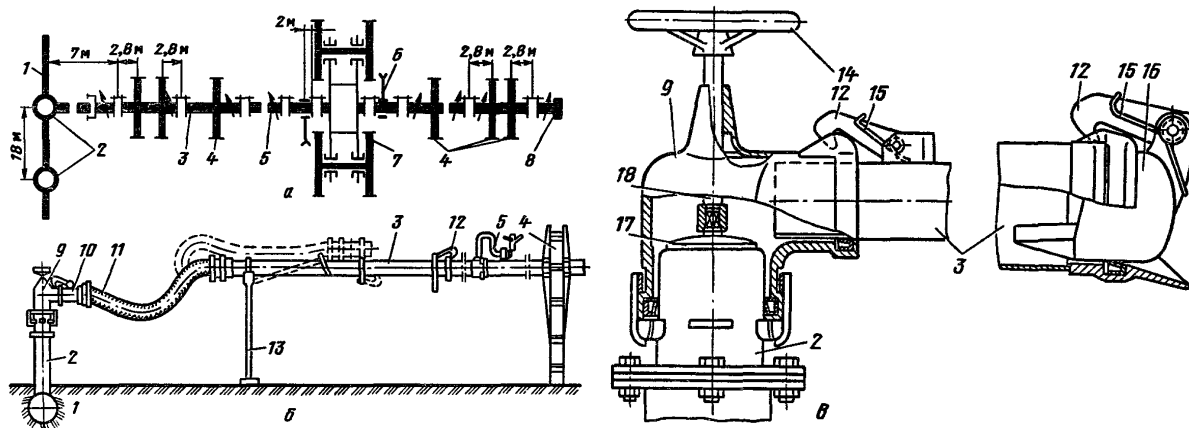


Рис. 30.43. Крыло поливочного трубопровода «Волжанка»:

а – монтажная схема; б – строение узла присоединения; в – узлы конечных патрубков; 1 – закрытый водопроводный трубопровод; 2 – гидранты; 3 – трубопровод (секция); 4 – опорные колеса; 5 – дождевальный аппарат; 6 – противовеетровый тормоз; 7 – приводная тележка; 8, 16 – заглушки; 9 – колонка; 10 – патрубок; 11 – гибкий шланг; 12 – крючок; 13 – опора; 14 – маховичок

Поливочный трубопровод (рис. 30.43) составляют из отдельных секций с фланцами на концах. Секции плотно стягивают болтами. У большого фланца в резьбовое отверстие вставляют стояк механизма самоустановки дождевального аппарата.

Опорные колеса поливочного трубопровода и приводной тележки выполнены разъемными. Они состоят из двух частей, соединенных болтами. Все колеса и тележки одинаковые.

Трубопровод крыла выполняет также роль вала колес. По обе стороны от приводной тележки на расстоянии 2 м от него закреплены противовеетровые тормозные опоры. Дождевальные аппараты ударного типа кругового действия оборудованы соплами. Поворотные коромысла вращаются вокруг оси и оборудованы двумя латунными вставками. Дождевальные аппараты присоединяют к поливочному трубопроводу с помощью механизма самоустановки. Под действием противовеса механизм удерживает аппарат в вертикальном положении после перекачивания трубопровода.

На приводной тележке в центре крыла размещены двигатель (рис. 30.44), реверс-редуктор и цепная передача. Рама тележки опирается на четыре колеса. Ведущие колеса и трубопровод-вал на опорных колесах вращаются одновременно.

Двигатель внутреннего сгорания – карбюраторный, одноцилиндровый, двухтактный с воздушным охлаждением. Его основные части: кривошипно-шатунный механизм, система охлаждения, зажигания и питания. Запускают двигатель съемным стартером.

Базовая модификация дождевальной машины ДКШ-64-800 состоит из двух крыльев, которые имеют 30 секций длиной по 12,6 м, двух труб по 5,95 м и двух конечных патрубков длиной 0,5 м. Машина выполняется в шести модификациях с длиной одного крыла трубопровода от 150 до 400 м. Длина крыла и расход воды зависят от количества секций (табл. 40.13).

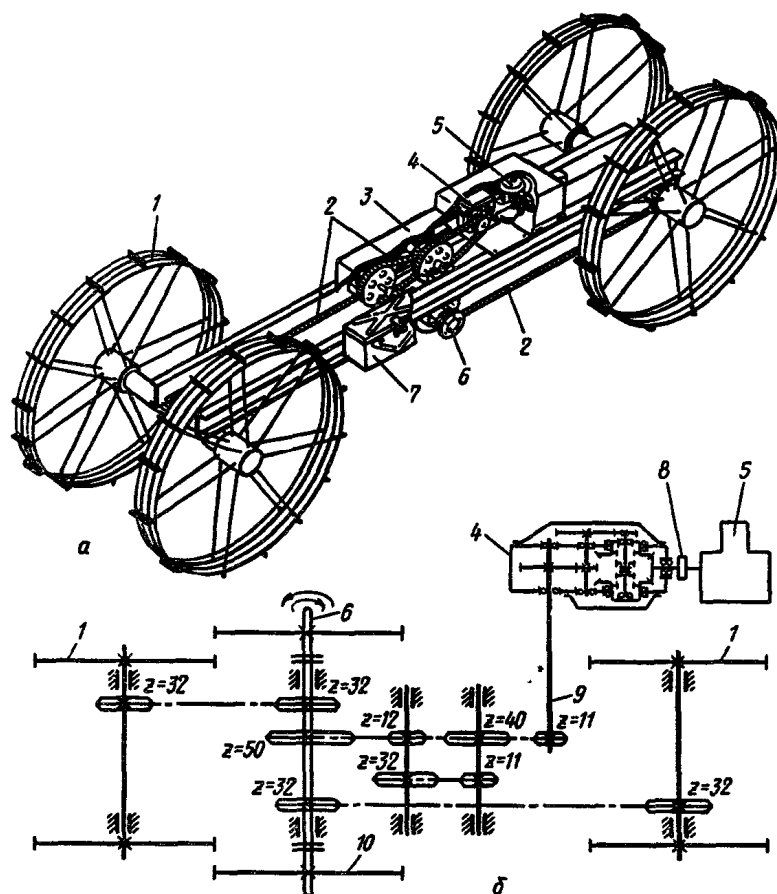


Рис. 30.44. Механизм передвижения крылья поливочного трубопровода дождевателя «Волжанка»:
 а – приводная тележка, б – схема передачи вращения трубопровода к ведущим колесам тележки; 1 – ведущие колеса тележки; 2 – цепная передача; 3 – кожух; 4 – реверс-редуктор; 5 – двигатель; 6 – поливочный трубопровод; 7 – ящик для инструмента; 8 – сцепление; 9 – ведущий вал реверс-редуктора; 10 – опорное колесо поливочного трубопровода

Таблица 30.13

Модификации машин «Волжанка»

Марка	Расстояние между оросителями, м	Длина крыла, м	Количество дождевальных аппаратов	Расход воды, л/с	Количество колес	Масса, кг
ДКШ-64-800	800	391,6	64	64	72	5420
ДКШ-56-700	700	341,2	56	56	64	4840
ДКШ-48-600	600	290,8	48	48	56	4260
ДКШ-40-500	500	240,4	40	40	48	3680
ДКШ-32-400	400	190,0	32	32	40	3100
ДКШ-24-300	300	139,6	24	24	32	2520

Расстояние между позициями для всех модификаций – 18 м, давление воды в гидранте – 0,4 МПа, интенсивность дождя – 0,27 мм/мин. В комплект машины входят 50 гидрантов-затвижек, секции разборного трубопровода, насосная станция СНП-75/100. Один машинист обслуживает две-три дождевальные машины.

Дождевальный колесный трубопровод ДКН-80 создан на базе машины ДКШ-64. Он предназначен для полива с одновременным внесением растворимых минеральных удобрений и подготовленных животноводческих стоков. Удобрительная органическая смесь должна иметь не более 25 % сухого вещества с размером частей до 10 мм. Машину можно применять для всех зон орошаемого земледелия при поливе низкостебельных кормовых культур, многолетних трав и др. Расстояние между гидрантами – 27 м.

Устройство машины ДКН-80 аналогично строению машины «Волжанка». Отличие составляет механизм самоустановки дождевальных аппаратов и сами дождевальные аппараты. Механизмы самоустановки поддерживают вертикальное положение каждого дождевального аппарата и сливного клапана вдоль (рис. 30.45, а) и на концах (рис. 12.45, б) трубопровода. В корпусе сливного клапана смонтирована отбивная пластина.

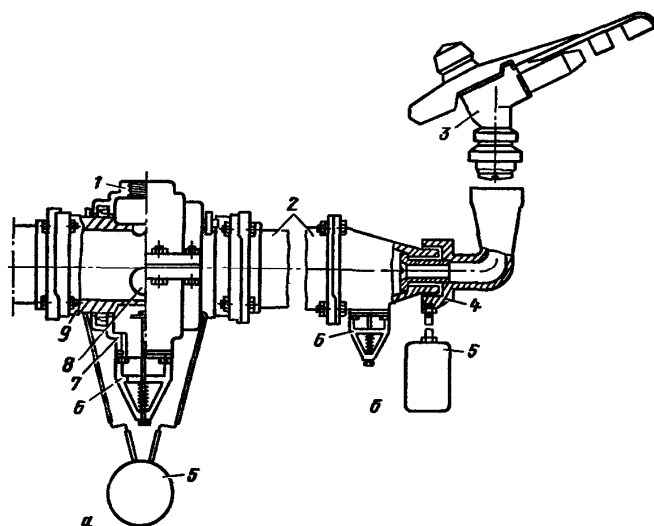


Рис. 30.45. Механизмы крепления и самоустановки дождевальных аппаратов на трубопроводе ДКН-80:
 а – по длине трубопровода; б – на конце трубопровода; 1 – место установки дождевального аппарата;
 2 – трубопровод; 3 – дождевальный аппарат; 4 – механизм самоустановки конечного дождевального аппарата;
 5 – груз; 6 – сливной клапан; 7 – тарелка клапана; 8 – муфта самоустановки дождевального аппарата;
 9 – патрубок

Дождевальные аппараты «Роса-3С» имеют сменные сопла диаметром 14...18 мм. Они могут поставяться для одной из трех модификаций с основными техническими данными, приведенными в таблице 30.14.

Таблица 30.14

Технические характеристики дождевальных машин

Показатель	ДКН-80	ДКН 80-01	ДКН-80-02
Расход, л / с	91	75	59
Давление на входе, МПа	0,45	0,43	0,41
Конструктивная длина (двух крыльев), м	540	438	336
Количество дождевальных аппаратов	22	18	14
Расстояние между оросителями, м	600	500	400
Обслуживающий персонал	один оператор на две машины		

Существующие машины и механизмы для выполнения работ в гидромелиоративном строительстве и при эксплуатации гидромелиоративных систем, бесспорно, создали современный базис для устойчивого развития Полесского региона, в котором проживает значительная часть населения. Вместе с тем для поддержания существующих темпов развития агропромышленного комплекса в Полесье необходимо, чтобы парк существующих машин обновлялся каждые пять-шесть лет. Современные тенденции развития научно-технического прогресса требуют внедрения высокотехнологичных машин, таких как микропроцессорная техника с системами управления машинами, манипуляторами, роботизированными устройствами, машин, которые экономят энергетические, материальные и трудовые ресурсы.

В ближайшее время получают дальнейшее развитие полностью автоматизированные системы машин, управляемых дистанционно со специально установленных пунктов. Их рабочие органы имеют большее число степеней свободы, выполняют сложные и разнообразные технологические операции, а также защищают окружающую среду от вредного технологического вмешательства. Широкое распространение получают вместе с машинами, работающими на принципе механического воздействия на рабочие среды, также машины химического, взрывного и гидравлического способа действия.

Литература

1. Бабич Я. О., Зінь В. С., Маркова О. В. Меліоративні машини: навч. пос. – Київ: ІСДО, 1994. – 328 с.
2. Бабич Я. А. и др. А. с. №16335262, СССР. Опубл. в Б. И. №12, 1991.
3. Бадаев Л. И., Донской В. М. Техническая эксплуатация гидромелиоративных систем : справочник. – М.: Колос, 1992. – 271 с.
4. Боршов Т. С., Лисовский И. В. Настройка и регулировка мелиоративных машин : справочник. – Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-е, 1989. – 234 с.
5. Васильев Б. А., Мер И. И., Прудников Г. Т. Мелиоративные и строительные машины. – М.: Агропромиздат, 1986. – 431 с.

6. Гарбузов З. Е., Донской В. М. Экскаваторы непрерывного действия. – М.: Высш. шк., 1987. – 287 с.
7. Губер К. В., Губин В. К., Гордеев В. Б. Машины для орошения и их техническое обслуживание. – М.: Высш. шк., 1982. – 303 с.
8. Зинь В.С. та ін. Агролісомеліоративні машини. – Київ: Урожай, 1980. – 203 с.
9. Зинь В. С. и др. А. с. №861479, СССР. – Оpubл. в Б.И. №33 25.12.1979.
10. Зинь В. С. и др. А. с. №1553622, СССР. – Оpubл. в Б.И. №12 31.05.1988.
11. Изаксон А. А. и др. Справочник молодого машиниста экскаватора. – М.: Высш. шк., 1979. – 271 с.
12. Камышенцев Л. А. и др. Механизация работ по ремонту и содержанию осушительных систем. – Л.: Колос, 1982. – 191 с.
13. Кравець С. В. Грунтозахисні та енергозберігаючі машини : навч. пос. – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
14. Кравець С. В. і др. Машини для водного господарства : підручник. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2006. – 348 с.
15. Кравець С. В. Основи створення багатоярусних ґрунтозахисних без траншейних дренажних комунікацій // Актуальні проблеми водного господарства. – Рівне: УДУВГ, 1997. – С. 108–112.
16. Медвидь С. Ф. и др. А. с. №901386, СССР. – Оpubл. в Б.И. № 4, 1982.
17. Никитин В. Г. и др. А. с. №1640305, СССР. – Оpubл. в Б.И. № 13, 1991.
18. Песков В. Г. и др. Механизация эксплуатационных работ на гидромелиоративных системах : справочник. – М.: Агропромиздат, 1986. – 143 с.
19. Полищук Д. П. и др. Справочник по использованию мелиоративной техники. – Киев: Урожай, 1986. – 204 с.
20. Сайко А. П. О терминологии и классификации машин в орошении // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 2.
21. Сандигурский Д. М., Безроднов Н. А. Механизация поливных работ. – Л.: Колос, 1983. – 288 с.
22. Сепунков А. П. Механизация полива. – М.: Агропромиздат, 1987. – 336 с.
23. Скотников В. А., Машенский А. А., Радкевич В. Т. Мелиоративные машины для осушения болот. – Минск: Высш. шк., 1988. – 308 с.
24. Сидоренко А. М., Михайленко Ю. І. Меліоративні машини. – Київ: Урожай, 1989. – 280 с.
25. Суриков В. В. и др. Строительные машины для механизации мелиоративных работ. – М.: Агропромиздат, 1991. – 463 с.
26. Сухарев Э. А. и др. А.с. №1244240, СССР. – Оpubл. в Б.И. № 26, 1986.
27. Ткачук Ю. П., Марко Р. И. А.с. №444523, СССР. – Оpubл. в Б.И. № 36, 1974.
28. Якимчук П. Г. и др. Справочник механика по мелиоративным машинам. – М.: Колос, 1977. – 368 с.

Алфавитный указатель авторов

редакционная группа:

Мажайский Юрий Анатольевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, генеральный директор ООО «Мещерский научно-технический центр», Российская Федерация;

Рокочинский Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедры природообустройства и гидромелиораций, Национальный университет водного хозяйства и природопользования (НУВХП), Украина;

Волчек Александр Александрович – доктор географических наук, профессор, декан факультета инженерных систем и экологии, Брестский Государственный технический университет, Республика Беларусь;

Мешик Олег Павлович – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедры природообустройства, Брестский Государственный технический университет, Республика Беларусь;

... –, Польша.

авторы:

Баховец Борис Афанасьевич – кандидат технических наук, профессор, НУВХП, Украина;

Беликов Александр Николаевич – ведущий инженер, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Бида Петр Иванович – кандидат технических наук, преподаватель высшей категории, Технический колледж Национального университета водного хозяйства и природопользования, Украина;

Будз Елена Петровна – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Быстрицкий Виталий Степанович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией мелиорации, Институт сельского хозяйства Полесья НААН Украины;

Васильев Сергей Васильевич – начальник Ровенского регионального управления водных ресурсов, Украина;

Вознюк Степан Тихонович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, НУВХП, Украина;

Волк Павел Павлович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Волкова Людмила Андреевна – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, НУВХП, Украина;

Волощук Владимир Анатольевич – кандидат технических наук, докторант, НУВХП, Украина;

Востриков Владимир Петрович – кандидат технических наук, профессор, НУВХП, Украина;

Галик Олег Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, НУВХП, Украина;

Гаць Павел Иванович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Гера Александр Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Национальный учебный центр «Институт земледелия НААН» Украины;

Громаченко Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Дячук Олег Викторович – инженер-гидротехник, Владимирецкое управление водного хозяйства Ровенского облводресурсов, соискатель НУВХП, Украина;

Епик Василий Владимирович – инженер-механик, Председатель совета коллективных хозяйств Костопольского района Ровенской области (1986-1990 г.г.), Украина.

Жомырук Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Забуга Андрей Алексеевич – начальник Ирпенского межрайонного управления водных ресурсов, Украина;

Залесский Иван Иванович – кандидат географических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Зубик Ярослав Ярославович – старший преподаватель, НУВХП, Украина;

Игнатюк Ирина Зиновьевна – кандидат экономических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Йовенко Александр Николаевич – директор ООО «Артель № 1», Украина;

Коваленко Петр Иванович – доктор технических наук, профессор, академик Национальной академии аграрных наук Украины, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Кожушко Леонид Федорович – доктор технических наук, профессор, НУВХП, Украина;

Козишкурт Светлана Николаевна – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Коломиец Сергей Степанович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Коптюк Роман Николаевич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Корбутяк Василий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Корбутяк Михаил Васильевич – кандидат географических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Корниенко Валерий Ярославович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Коротун Игорь Николаевич – кандидат географических наук, профессор, НУВХП (1936-2000 гг.), Украина;

Коротун Людмила Константиновна – кандидат географических наук, доцент, НУВХП (1937-2001), Украина;

Коротун Сергей Игоревич – кандидат географических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Корюненко Владимир Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Косяк Диана Святославовна – кандидат географических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Котикович Игорь Викторович – научный сотрудник, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Кравец Святослав Владимирович – доктор технических наук, профессор, НУВХП, Украина;

Лукьянчук Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Маланчук Зиновий Романович – доктор технических наук, профессор, НУВХП, Украина;

Маланчук Лариса Алексеевна – кандидат экономических наук, старший преподаватель, НУВХП, Украина;

Малюга Виталий Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель, Национальный университет биоресурсов и природопользования, Украина;

Маркова Ольга Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Матус Светлана Константиновна – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Медвидь Сергей Фомич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Мендусь Петр Ильич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Мендусь Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Мобило Леонид Владимирович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Мощич Светлана Зеновьевна – аспирант, НУВХП, Украина;

Наумчук Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Никитин Валерий Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Павелковский Александр Васильевич – аспирант, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Паллу Людмила Николаевна – аспирант, НУВХП, Украина;

Пастухов Александр Васильевич – ст. преподаватель, НУВХП, Украина;

Пастушенко Владимир Иосифович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Пинчук Олег Леонидович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Покладнев Евгений Иванович – отдел технических средств обучения и учебных компьютерных технологий, начальник, НУВХП, Украина;

Поляков Вадим Леонтьевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт гидромеханики НАН Украины;

Приходько Наталья Владимировна – кандидат технических наук, ассистент, НУВХП, Украина;

Разгон Вячеслав Анатольевич – кандидат технических наук, начальник управления эксплуатации водохозяйственных систем, энергосбережения и механизации, Государственное агентство водных ресурсов Украины;

Ромащенко Дмитрий Михайлович – директор ООО «Ирригационные системы», Украина;

Савчук Дмитрий Петрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Савчук Татьяна Владимировна – инженер, НУВХП, Украина;

Сапсай Григорий Иванович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Сербенюк Виктор Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Национальный научный центр «Институт земледелия НААН» Украины;

Скрипчук Петр Михайлович – доктор экономических наук, профессор, НУВХП, Украина;

Сливка Петр Демьянович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Слюсар Иван Тимофеевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Национальный научный центр «Институт земледелия НААН» Украины;

Соляник Елена Петровна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Национальный научный центр «Институт земледелия НААН» Украины;

Сташук Василий Андреевич – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НААН Украины, Государственный институт управления и экономики водных ресурсов, Украина;

Степанюк Антон Адамович – кандидат технических наук, ассистент, НУВХП, Украина;

Тимошук Ирина Ивановна – аспирант, НУВХП, Украина;

Тищенко Алексей Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Гкачук Валентин Федорович – кандидат технических наук, профессор, НУВХП, Украина;

Токарь Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Токарь Людмила Александровна – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Трофимчук Дмитрий Николаевич – аспирант, НУВХП, Украина;

Турченко Василий Александрович – кандидат технических наук, доцент, докторант, НУВХП, Украина;

Тымейчук Орест Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Фроленкова Надежда Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Холоденко Виктория Святославовна – кандидат географических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Чалый Борис Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Черенков Андрей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, НУВХП, Украина;

Черный Роман Владимирович – аспирант, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины;

Чугай Евгений Александрович – инженер-гидротехник, Владимирецкое управление водного хозяйства Ровенского облводресурсов, соискатель НУВХП, Украина;

Шалай Сергей Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, НУВХП, Украина;

Шевченко Анатолий Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом, Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Часть 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРЕДПОСЫЛКИ К МЕЛИОРАЦИИ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ	
Глава 1. ПОЛЕСЬЕ КАК ОНО ЕСТЬ: ОТ ПРОШЛОГО К НАСТОЯЩЕМУ (Сташук В. А., Рокочинский А. Н., Волкова Л. А.)	
1.1. Географическое положение и происхождение Полесья.....	4
1.2. Специфика образования и существования Полесья.....	5
1.3. Мелиорация как необходимое условие развития Полесского региона.....	15
1.4. Современное состояние и пути повышения эффективности использования мелиорированных угодий Полесья.....	20
<i>Литература</i>	25
Глава 2. СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БОЛОТ, ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ И ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, СОХРАНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ (Вознюк С. Т.)	
2.1. Природные и антропогенные условия и факторы формирования почвенного покрова Северо-Западного региона Украины.....	27
2.2. Болотно-торфяные ресурсы и их эколого-демографическая роль.....	31
2.3. Состояние и задачи дальнейшего развития и использования практикой научных разработок относительно рассматриваемых проблем в Полесье, Лесостепи Украины и на соседних с ними территориях.....	32
2.4. Агромелиоративная характеристика торфяников и торфяных почв Полесья и Лесостепи Украины.....	38
2.5. Режим питательных веществ торфов и торфяных почв Полесья и Лесостепи Северо-Западного региона Украины.....	42
2.6. Выработанные торфяники Полесья, Лесостепи и Прикарпатья как объект ренатурализации.....	51
2.7. Основные экологические функции торфяных земель.....	61
2.8. Направления использования торфяно-земельных ресурсов.....	65
2.9. Торфяные месторождения и тепловой эффект.....	70
2.10. О преобразовании торфа в восстанавливаемый ресурс.....	71
2.11. Мелиорации земель: что привело к падению престижа? Будут ли они нужны в будущем?.....	72
<i>Литература</i>	74
Глава 3. КЛИМАТ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ (Галик О. И., Будз Е. П.)	
3.1. Характеристика процессов образования климата Украинского Полесья.....	77
3.2. Региональные изменения климата Украинского Полесья.....	89
3.3. Атмосферные явления.....	104
<i>Литература</i>	112
Глава 4. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ (Залеский И. И.)	
4.1. Исторические этапы мелиорации земель.....	114
4.2. Методы исследований для обоснования мелиоративных мероприятий.....	116
4.3. Общие гидрогеологические закономерности.....	117
4.4. Особенности гидрогеологической стратификации.....	118

4.5. Режим подземных вод.....	127
4.6. Гидродинамические условия подземных вод.....	130
4.7. Эффективность осушительных систем и рекомендации мелиоративных мероприятий.....	135
<i>Литература</i>	138
Глава 5. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ РОВЕНЩИНЫ (Маланчук З. Р., Корниенко В. Я., Жомырук Р. В., Игнатюк И. З., Маланчук Л. А., Пастухов А. В., Тимощук И. И., Мощич С. З.)	
5.1. Общие сведения о полезных ископаемых Ровенщины.....	140
5.2. Развитие минерально-сырьевой базы Ровенщины.....	141
5.3. Организационно-техническое обеспечение.....	154
<i>Литература</i>	155
Глава 6. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ И МЕТОДЫ ЕГО РАССЧЕТА (Галик О. И., Будз Е. П., Косяк Д. С., Холоденко В. С.)	
6.1. Гидрографические характеристики территории.....	157
6.2. Гидрологическая изученность территории.....	165
6.3. Питание рек.....	167
6.4. Режим уровней воды.....	169
6.5. Термический и ледовый режимы.....	171
6.6. Гидрохимический режим.....	173
6.7. Режим стока наносов.....	182
<i>Литература</i>	182
Глава 7. ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ (Галик О. И., Будз Е. П., Косяк Д. С., Холоденко В. С.)	
7.1. Речной сток.....	184
7.2. Внутригодовое распределение стока рек.....	187
7.3. Максимальный сток весеннего половодья.....	189
7.4. Максимальный сток дождевого паводка.....	195
7.5. Минимальный сток.....	198
7.6. Изменения водного режима.....	203
<i>Литература</i>	221
Глава 8. СТОК РЕК ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ (Корбутяк М. В., Слывка П. Д., Корбутяк В. М.)	
8.1. Средний многолетний речной сток.....	223
8.2. Повторяемость и длительность затопления пойм на реках Украинского Полесья.....	226
8.3. Некоторые вопросы расчёта стока рек Западного Полесья Украины.....	233
<i>Литература</i>	235
Глава 9. ПРИРОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ РОВЕНСКОЙ ОБЛАСТИ (Коротун С. И., Коротун И. Н., Коротун Л. К.)	
9.1. Геологические условия.....	236
9.2. Рельеф.....	241
9.3. Климат.....	245
9.4. Гидрографическая сеть и ее гидрологический режим.....	247
9.5. Подземные воды.....	252
9.6. Почвенный покров и изменения его свойств в результате гидромелиораций.....	255
9.7. Биоценоз и их изменения в процессе осушения.....	260
9.8. Природное районирование территории.....	263
9.9. Развитие мелиораций на Ровенщине.....	270
<i>Литература</i>	281

Глава 10. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЕКТОВ В ЗОНЕ ПОЛЕСЬЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ (Фроленкова Н. А., Рокочинский А. Н.)

10.1. Необходимость реализации водохозяйственно-мелиоративных проектов и предпосылки реформирования механизма их эколого-экономической оценки.....	284
10.2. Особенности отечественных подходов к оценке эколого-экономической эффективности финансовых вложений в водохозяйственно-мелиоративные проекты.....	289
10.3. Современные методологические подходы к обоснованию инвестиций в долгосрочные проекты сферы природопользования.....	301
<i>Литература</i>	306

Глава 11. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ И УСЛОВИЯ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЕ ПОЧВЫ, РЕЖИМ РАБОТЫ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ (Слюсар И. Т., Гера А. Н., Соляник Е. П., Сербенюк В. А.)

11.1. Природные и антропогенные факторы формирования переувлажненных земель.....	309
11.2. Переувлажненные и осушаемые почвы, ландшафтно-генетическая классификация и мелиоративное группирование.....	313
11.3. Комплексная мелиорация земель и нормативные требования сельскохозяйственных культур к агроэкологическим условиям и режимам водорегулирования.....	318
11.4. Влияние осушительных мелиораций и сельскохозяйственного использования на трансформацию органогенных почв.....	322
<i>Литература</i>	340

Часть 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕЛИОРАЦИЙ

Глава 12. РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ (Сташук В. А., Рокочинский А. Н., Разгон В. А., Черенков А. В., Волк П. П., Коптюк Р. Н., Паллу Л. Н.)

12.1. Режимно-технологические аспекты водорегулирования осушаемых земель.....	342
12.2. Конструктивные решения для обеспечения различных технологий водорегулирования осушаемых земель.....	350
12.3. Водохозяйственный комплекс хозяйства «Рассвет» Костопольского района Ровенской области (<i>Гаць П. И., Епик В. В.</i>).....	357
12.4. Действующие гидромелиоративные системы Полесья Украины (<i>Чугай Е. А., Дячук О. В.</i>).....	364
<i>Литература</i>	377

Глава 13. РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МЕЛИОРАТИВНЫМ ДРЕНАЖЕМ (Поляков В.Л.)

13.1. Схематизация природных условий и выбор расчетных схем дренажа, исходных данных.....	379
13.2. Учет гидродинамического несовершенства дренажа.....	385
13.3. Неустановившийся приток к одиночной горизонтальной дрене в неограниченном в плане водоносном пласте.....	387
13.4. Неустановившийся приток к систематическому горизонтальному дренажу.....	388
13.5. Неустановившийся приток к систематическому дренажу с учетом инфильтрации.....	390
13.6. Неустановившийся приток к подсистемам дренажа и проводящих каналов, кротовин.....	391
13.7. Неустановившаяся фильтрация при подпочвенном увлажнении почвогрунта.....	392
13.8. Установившаяся фильтрация на фоне дренажа с учетом водообмена с сопредельными средами.....	392
13.9. Неустановившийся приток к одиночной самоизливающейся скважине.....	394
13.10. Неустановившийся приток к регулярной системе самоизливающихся скважин.....	395
<i>Литература</i>	397

Глава 14. ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДПОЧВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА И ПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ КАНАЛОВ В ДЕРНОВОЙ И ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ (Черенков А. В.)

14.1. Регулирование водного режима минеральных переувлажненных почв и пути его совершенствования.....	399
14.2. Общая характеристика района и объекта исследований.....	401
14.3. Влияние параметров осушительной сети и конструкций ее элементов на интенсивность осушения.....	406
14.4. Усовершенствование методики определения междренных расстояний с учетом конструкции осушаемой сети и ее элементов.....	413
14.5. Исследование элементов технологии подпочвенного увлажнения.....	418
14.6. Эффективность применения различных конструкций дрен с учетом влияния проводящей сети открытых каналов.....	431
<i>Литература</i>	431

Глава 15. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ И ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЗОНЕ ПОЛЕСЬЯ (Токарь Л. А., Токарь А. И.)

15.1. Современное состояние осушительных и осушительно-увлажняющих систем в зоне Полесья	435
15.2. Методы оценки параметров водопроводной сети как вероятностных величин.....	435
15.3. Вероятностная оценка пропускной способности каналов.....	437
15.4. Вероятностная оценка расстояний между дренами осушительно-увлажнительных систем.....	441
<i>Литература</i>	447

Глава 16. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ЗОНЫ ПОЛЕСЬЯ (Коваленко П. И., Сташук В. А., Рокочинский А. Н., Чалый Б. И., Тышенко А. И., Баховец Б. А., Пастушенко В. И., Матус С. К., Наумчук А. Н.)

16.1. Общая характеристика объектов и систем автоматического управления.....	448
16.2. Теоретические основы и принципы автоматизации гидромелиоративных систем на осушаемых землях.....	451
16.3. Схемы автоматизации водорегулирования по гидравлическому принципу.....	463
16.4. Классификация и конструктивные особенности средств гидравлической автоматизации по основным их признакам.....	466
16.5. Способы использования гидравлических регуляторов на типичных схемах осушительных систем.....	482
<i>Литература</i>	485

Глава 17. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ (Рокочинский А. Н.)

17.1. Исходные предпосылки к оптимизации водорегулирования осушаемых земель.....	488
17.2. Современное состояние и пути развития осушительных мелиораций в Украине.....	488
17.3. Общие подходы к оптимизации водорегулирования осушаемых земель.....	490
17.4. Системный подход как методологическая основа постановки и решения задач оптимизации водорегулирования осушаемых земель.....	492
17.5. Теоретические основы оптимизации технических и технологических решений по водорегулированию осушаемых земель относительно уровня принятия их во времени.....	495
17.6. Подходы и методы решения оптимизационных задач в сложных природно-технических эколого-экономических системах.....	500
17.7. Структурная модель мелиоративной системы и мелиорируемого поля в задачах оптимизации водорегулирования осушаемых земель.....	503
17.8. Общие положения и предпосылки к разработке прогнозно-имитационных моделей.....	507

17.9. Общие модели оптимизации проектных решений на эколого-экономических принципах с учетом климатологической стратегии управления мелиоративными объектами по уровням принятия их во времени.....	509
17.10. Предпосылки использования прогнозно-оптимизационных расчетов и решение практических задач.....	517
<i>Литература</i>	518

Глава 18. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЕКТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (Рокочинский А. Н., Громаченко С. Ю., Волощук В. А., Зубик Я. Я.)

18.1. Климат как определяющий фактор создания и функционирования сложных природно-технических систем.....	522
18.2. Обоснование необходимости метеорологического обеспечения при разработке водохозяйственно-мелиоративных проектов.....	523
18.3. Научно-методические подходы к прогнозированию типовых метеорологических режимов на долгосрочной основе.....	523
18.4. Прогноз типовых метеорологических режимов на долгосрочной основе при наличии многолетних данных.....	527
18.5. Прогноз типовых метеорологических режимов на долгосрочной основе при отсутствии многолетних данных.....	535
18.6. Оценка имитационной способности моделей климатологического прогноза.....	542
18.7. Прогнозная оценка метеорологических режимов на долгосрочной основе с учетом изменений климата (Волчек А. А., Савчук Т. В., Приходько Н. В., Чугай Е. А., Дячук О. В.).....	544
<i>Литература</i>	551

Глава 19. ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНОЙ УРОЖАЙНОСТИ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЕКТАХ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ (Шалай С. В., Рокочинский А. Н.)

19.1. Предпосылки и общие подходы к обоснованию урожайности.....	553
19.2. Модель проектной урожайности.....	557
19.3. Общая модель действительно возможной урожайности.....	558
19.4. Модель потенциально возможной урожайности.....	560
19.5. Определение агротехнически обеспеченной урожайности (Кучерова А. В., Быстрицкий В. С.).....	565
19.6. Модель технологически обеспеченной урожайности.....	568
19.7. Определение долевого участия определяющих факторов развития на продуктивность осушаемых земель.....	570
19.8. Проверка и оценка комплекса моделей по обоснованию проектной урожайности на осушаемых землях зоны Полесья.....	573
<i>Литература</i>	575

Глава 20. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ (Коптюк Р. Н., Рокочинский А.Н.)

20.1. Современное состояние и пути совершенствования методов расчета осушительных систем в условиях развитого рельефа.....	577
20.2. Оценка неравномерности рельефа в проектах строительства и реконструкции осушительных систем.....	578
20.3. Совершенствование существующей модели прогнозной оценки водного режима и технологий водорегулирования осушаемых земель с учетом развитости рельефа местности.....	581
20.4. Учет величины поверхностного стока в модели водного режима осушаемых земель с учетом степени развитости рельефа местности.....	588

20.5. Учет влияния развитости рельефа на баланс грунтовых вод в модели водного режима осушаемых земель.....	593
20.6. Определение уклонов и перепадов поверхности земли при разной степени развитости рельефа поверхности мелиорируемого поля.....	594
20.7. Исследование влияния рельефа местности на водный режим и эффективность водорегулирования осушаемых земель.....	596
20.8. Мелиоративная эффективность рельефа на осушаемых землях.....	601
20.9. Оценка мелиоративной эффективности рельефа объекта осушения и Полесья Украины в целом.....	603
20.10. Оптимизация типа и конструкции гидромелиоративной системы с учетом рельефа местности.....	608
20.11. Инвестиционная оценка проектов оптимизации водорегулирования осушаемых земель с учетом основных факторов влияния (<i>Фроленкова Н. А.</i>).....	611
<i>Литература</i>	614

Глава 21. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ДРЕНАЖА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛЫНСКОГО ПОЛЕСЬЯ НА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ (*Волк П. П., Рокочинский А. Н., Тымейчук О. Ю.*)

21.1. Обоснование необходимости и пути совершенствования метода оптимизации параметров дренажа на осушаемых землях.....	617
21.2. Оптимизация параметров дренажа на осушаемых землях с учетом экономических и экологических требований.....	619
21.3. Обоснование конструктивно-технологических и эколого-экономических параметров дренажа.....	624
21.4. Сравнительная оценка различных подходов к обоснованию параметров сельскохозяйственного дренажа и эффективности его работы.....	634
<i>Литература</i>	638

Глава 22. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДРЕГУЛИРОВАНИЯ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ (*Матус С. К., Рокочинский А. Н.*)

22.1. Современное состояние и пути совершенствования водорегулирования на осушительно-увлажнительных системах с развитым рельефом местности.....	640
22.2. Принципы организации территории осушительно-увлажнительных систем на уровне мелиоративных полей по их рельефной дифференциации.....	640
22.3. Влияние климатического, мелиоративного и рельефного факторов на формирование водного режима осушаемых земель.....	644
22.4. Обоснование необходимости автономного управления водорегулированием в условиях рельефной дифференциации территории мелиорированных полей.....	646
22.5. Инвестиционная оценка эффективности внедрения результатов научных исследований... ..	656
<i>Литература</i>	658

Глава 23. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ЗОНЫ ПОЛЕСЬЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ (*Наумчук А. Н., Рокочинский А. Н.*)

23.1. Современное состояние и пути совершенствования автоматизации осушительно-увлажнительных систем.....	661
23.2. Объекты и условия проведения исследований.....	663
23.3. Средства гидравлической автоматизации осушительно-увлажнительных систем и методы их расчета.....	664
23.4. Экспериментальные исследования средств гидравлической автоматизации.....	671

23.5. Расчет параметров регулирования и моделирование взаимодействия гидравлических регуляторов с регулирующей сетью.....	675
23.6. Оценка эффективности применения средств гидравлической автоматизации осушительно-увлажнительных систем.....	685
<i>Литература</i>	689

Глава 24. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНОВОГО ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ПОЛЕСЬЯ (Сташук В. А., Рокочинский А. Н., Зубик Я. Я., Покладнев Е. И., Трофымчук Д. Н.)

24.1. Необходимость и принципы комплексной автоматизации планового водорегулирования на осушаемых землях.....	691
24.2. Разработка системных планов водорегулирования на долгосрочной основе.....	694
24.3. Информационно-советующие системы оперативного планирования водорегулирования.....	697
24.4. Реализация планового водорегулирования в производственных условиях.....	702
24.5. Системное водорегулирование на осушительно-увлажнительных системах в современных условиях.....	709
<i>Литература</i>	712

Глава 25. ЗАЩИТА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ СКЛАДИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (Громаченко С. Ю., Рокочинский А. Н.)

25.1. Современное состояние и пути защиты окружающей среды от загрязнения отходами.....	714
25.2. Основные загрязнители в пределах объектов складирования твердых бытовых отходов.....	716
25.3. Современные подходы к защите от загрязнения территорий и водных объектов на основе использования инженерно-мелиоративных мероприятий.....	717
25.4. Прогнозная оценка на долгосрочной основе объема и режима образования фильтрата как основного фактора загрязнения.....	719
25.5. Обоснование нормы внесения мелиоранта-сорбента в мелиоративных мероприятиях.....	724
25.6. Обоснование конструкций и параметров дренажно-аккумулирующих сетей.....	728
<i>Литература</i>	732

Глава 26. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ (Бидя П. И., Быстрицкий В. С., Скрипчук П. Н., Кожушко Л. Ф.)

26.1. Современное состояние проблемы радиоактивного загрязнения торфяных почв Полесья.....	734
26.2. Обоснование конструкции и принципа действия дренажно-сорбционной системы.....	736
26.3. Обоснование конструкции и параметров фильтрующе-сорбционных элементов.....	738
26.4. Установление рациональных расстояний между фильтрующе-сорбционными элементами в условиях их работы.....	740
26.5. Эффективность водорегулирования осушаемых торфяных почв при различных расстояниях между фильтрующе-сорбционными элементами дренажно-сорбционной системы.....	746
26.6. Обоснование параметров дренажно-сорбционной системы.....	752
<i>Литература</i>	756

Глава 27. ТЕПЛОВЫЕ МЕЛИОРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБРОСНЫХ ТЕПЛЫХ ВОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ ПОЛЕСЬЯ (Востриков В. П., Пинчук О. Л.)

27.1. Исходные предпосылки.....	758
27.2. Источники сбросных теплых вод.....	759
27.3. Технология поверхностного обогрева почвы водонаполненными оболочками-рукавами.....	760
27.4. Конструкция гидротехнической системы поверхностного обогрева почв на основе оболочек-рукавов.....	762
27.5. Методика проведения исследований.....	764
27.6. Влияние поверхностного обогрева оболочками-рукавами на температурный режим почвы.....	767

27.7. Влияние поверхностного обогрева оболочками-рукавами на температурный режим приземного слоя воздуха.....	776
27.8. Математическое моделирование тепловых процессов при обогреве почвы оболочками-рукавами.....	783
<i>Литература</i>	789

Глава 28. ГЛУБОКОЕ РЫХЛЕНИЕ ОСУШАЕМЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ ВОЛЫНСКОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ (Рокочинский А. Н., Ткачук В. Ф., Степанюк А. А., Разгон В. А., Мендусь П. И.)

28.1. Современное состояние, необходимость и пути улучшения агромелиоративного состояния осушаемых земель (Волкова Л. А.).....	792
28.2. Общая характеристика условий Волынского Полесья.....	794
28.3. Способы и средства глубокого рыхления осушаемых минеральных почв (Турченко В. А., Лукьянчук А. П.).....	797
28.4. Эффективность применения глубокого рыхления на осушаемых минеральных почвах (Волкова Л. А., Сапсай Г. И., Козишук С. Н., Приходько Н. В.).....	806
28.5. Расчет параметров глубокого рыхления (Лукьянчук А. П.).....	815
28.6. Эффективность работы дренажа и обоснование его параметров при глубоком рыхлении почвы (Мешик О. П., Волк П. П., Коптюк Р. Н., Мендусь С. П., Васильев С. В., Савчук Т. В.).....	820
28.7. Экономическая и экологическая эффективность глубокого рыхления (Фроленкова Н. Н., Коптюк Р. Н.).....	823
<i>Литература</i>	828

Глава 29. ВОЗОБНОВЛЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ (Савчук Д. П., Шевченко А. Н., Котикович Н. В., Беликов О. Н., Корюненко В. Н., Коломиец С. С., Павелковский В. В., Чорный Р. В., Малюга В. В., Забуга А. А., Ромащенко Д. М., Иовенко А. Н.)

29.1. Особенности возобновления мелиоративных систем.....	829
29.2. Природные условия района исследований.....	829
29.3. Характеристика и состояние осушительной системы.....	831
29.4. Комплекс мероприятий по возобновлению осушительных систем.....	836
29.5. Применение капельного орошения на возобновленных осушительных системах.....	840
<i>Литература</i>	844

Глава 30. СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ (Кравец С. В., Маркова О. В., Медвидь С. Х., Мобило Л. В., Никитин В. Г.)

30.1. Общие сведения и роль механизации.....	845
30.2. Назначение и классификация средств механизации.....	845
30.3. Машины для прокладки каналов (каналокопатели).....	845
30.4. Машины для содержания и ремонта каналов и водоемов.....	849
30.5. Машины для строительства закрытого горизонтального дренажа и трубопроводов.....	865
30.6. Машины для проведения культуртехнических работ.....	880
30.7. Машины и установки для орошения сельскохозяйственных культур.....	886
<i>Литература</i>	889

Алфавитный указатель авторов.....891

Оглавление.....894

Международное научное издание

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЛЕСЬЯ
Книга 2. МЕЛИОРАЦИЯ УКРАИНСКОГО
ПОЛЕСЬЯ
Том 1

Под общей научной редакцией

Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского,
А. А. Волчека, О. П. Мешика

...

Подписано в печать 17.10.17. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная
Гарнитура Таймс, Cambria. Печ. л. 112,5. Тираж 100 экз. Заказ №